



POPULÄRE

VORLESUNGEN

über

wissenschaftliche Gegenstände

von

F. W. BESSEL.

Nach dem Tode des Verfassers

herausgegeben

von

H. C. Schumacher.

HAMBURG.
Perthes-Besser & Mauke.
1848.

Inhalt.

Vorwort.

Der ehrenvolle Auftrag, den ich mit Dank übernahm, die hinterlassenen populären Schriften meines unsterblichen Freundes zur Herausgabe zu ordnen, verpflichtet mich, einige Worte über ihre Entstehung vorauszusenden. Es sind fast alle hier gegebenen Abhandlungen Vorträge, die er von 1832 an bis 1844 in der physicalisch-oeconomischen Gesellschaft in Königsberg hielt. Einige dieser Vorträge sind für die Jahrbücher umgearbeitet, die ich früher im Verlage der Cotta'schen Buchhandlung herausgab, andere sind, soviel ich weiss, ausdrücklich für diese Jahrbücher geschrieben; bei den einen, wie bei den anderen, erlaubte mein früherer Herr Verleger mit dankbar anzuerkennender Liberalität ihren Abdruck in dieser Sammlung. Bessel selbst betrachtete die hier gegebenen Aufsätze als Bruchstücke zu einer populären Astronomie, die er, mit den meisten Werken dieser Art nicht besonders zufrieden, in seinem Sinne schreiben wollte; ein Plan der, wie so manches Andere, was wir noch von ihm hoffen durften, durch seinen Tod vereitelt ward.

Die gefälligen Mittheilungen des Herrn Dr. Busch in Königsberg setzten mich in den Stand, diese Aufsätze (mit Ausnahme der Vorlesung über

den Mond, die durch Zufall an das Ende kam) nahe chronologisch geordnet zu geben. Herr Dr. Busch hatte aus den Sitzungsprotocollen der physicalisch-oeconomischen Gesellschaft die Tage, an denen die einzelnen Vorlesungen gehalten wurden, schon zu einem Verzeichnisse von Bessels sämmtlichen Werken und gedruckten Aufsätzen (das jetzt schon 375 Nummern hält) ausgezogen, und hat mir folgende Notizen über ihre Zeitfolge gesandt:

1832 März 2, Vorlesung über den gegenwärtigen Standpunct der Astronomie.

1833 März 1, Ueber das, was uns die Astronomie von der Gestalt und dem Inneren der Erde lehrt.

1834 Jan. 17, Ueber die physische Beschaffenheit der Himmelskörper.

1836 Jan. 29, Von den Erscheinungen, welche der Halley'sche Komet gezeigt hat.

1837 Jan. 6, Ueber Fluth und Ebbe.

1838 Jan. 19, Ueber den Mond.

1840 Feb. 28, Ueber die Verbindung der astronomischen Beobachtungen mit der Astronomie.

1844 Feb. 6, Gleichgewicht und Bewegung.

Auf eine spätere Nachfrage über die hier nicht aufgeführten Aufsätze antwortete Herr Dr. Busch:

„Die im Jahrbuche für 1836 mitgetheilte Vorlesung über den Halley'schen Kometen, ist

die einzige, welche der Geheime Rath nicht öffentlich, sondern in einer Privatgesellschaft bei dem früher hier commandirenden General, Herrn v. Natzmer gehalten hat. Zwar hat er später noch einmal in derselben Privat-Gesellschaft (im März 1838) einen Vortrag gehalten, der indessen nur eine Wiederholung der in der physicalischen Gesellschaft öffentlich gehaltenen Vorlesung über den Mond war. Was die Vorlesung über die Messung von 61 Cygni betrifft, so erinnere ich mich bestimmt, wenn auch nicht die gedruckte Vorlesung, doch einen Vortrag von Bessel über diesen Gegenstand in der physicalischen Gesellschaft gehört zu haben, der aber nicht in den Protocollen dieser Gesellschaft aufgeführt ist. Die beiden Aufsätze über Maass und Gewicht und über den Magnetismus der Erde sind allein für Ihr Jahrbuch geschrieben. Was endlich die Vorlesung über die Wahrscheinlichkeits-Rechnung betrifft, so war dieselbe, wie ich glaube, ursprünglich für einen Vortrag in der physicalischen Gesellschaft bestimmt, der aber nicht gehalten ward.“

Es sei mir am Schlusse erlaubt zu bemerken, dass Bessel in der am 28. Februar 1840 gehaltenen Vorlesung über die Verbindung der astronomischen Beobachtungen mit der

Astronomie (p. 447 u. fg.) den jetzt entdeckten Planeten Neptun aus eben den Betrachtungen die zu seiner Entdeckung geführt haben, schon ankündigt. Seit längerer Zeit hatte er alle andere mögliche Erklärungen der Anomalien, die Uranus in seinen Bewegungen zeigt, mit seiner gewohnten Gründlichkeit untersucht, und war, nachdem er sie am Ende als ungenügend erkannte, im Begriffe, den Weg, der zum Ziele geführt hätte, einzuschlagen, als zunehmende Kränklichkeit und angestrengte Arbeiten mit einem neuen vortrefflichen Meridian-Instrumente von Repsold, denen er sich ohnerachtet seiner Kränklichkeit unterzog, ihm eine der glänzendsten Entdeckungen, für die er soviel gethan hatte, in dem Augenblicke entrissen, in dem er seine Hand nach dem Preise ausstrecken durfte. Die für diese Untersuchungen von seinem talentvollen auch schon verstorbenen Schüler Flemming, mit der äussersten Schärfe gemachten Reductionen der Uranusbeobachtungen, deren Bessel p. 452 erwähnt, werden in den Astronomischen Nachrichten erscheinen, und den Ernst zeigen, mit dem Bessel seine Nachforschungen unternahm.

Altona 1847. Novemb. 28.

H. C. Schumacher.

Ueber den gegenwärtigen Standpunkt der Astronomie.

Ich bin im Begriffe Etwas auszuführen, dessen Schwierigkeit ich im Augenblicke seines Anfanges lebhaft fühle: ich will die hier versammelte, verehrungswürdige Gesellschaft mit dem Zustande unterhalten, zu welchem die Astronomie im gegenwärtigen Jahrhunderte gelangt ist. Das Jahrhundert ist aber schon fast bis auf ein Drittel seiner Länge fortgeschritten, und in diesem Drittel ist so viel geschehen, dass die Darlegung des Einzelnen, in einer kurzen Stunde, ohne allen Erfolg versucht werden würde; auf der anderen Seite muss ich fürchten, durch einen blossen Umriss, welchen ich um das Geschehene ziehen könnte, den Zustand der Wissenschaft, und was das gegenwärtige Jahrhundert dazu beigetragen hat, so unbestimmt zu bezeichnen, dass auch hierdurch der Zweck meiner Vorlesung nicht erreicht werden würde. Ich werde daher einen dritten Weg einschlagen, nämlich die Idee, welcher die Astronomie gefolgt ist, aus

dem Zeugnisse der Thatsachen entwickeln. Dieser Weg ist freilich lang, indem er uns von unbestimmt entfernter Zeit bis in das 19. Jahrhundert führen soll; allein den grössten Theil desselben können wir rasch überspringen, und den unmittelbar vor dem gegenwärtigen Jahrhunderte liegenden Theil desselben, auf dem wir uns länger verweilen werden, müssen wir kennen lernen, um gehörig würdigen zu können, wie der Weg zum Ziele nach und nach gerader und ebener wird. —

Ich muss also, wie ich schon gesagt habe, in eine weit entlegene Zeit zurückgehen, um die Aufgabe der Astronomie des 19. Jahrhunderts klar vor Ihre Augen legen zu können. Keine Art von Geschichte fängt mit einem bestimmten Tage an; — ein Ereignis tritt an einem bestimmten Tage hervor, allein seine Motive liegen immer weiter zurück, und der Anfang der Geschichte dieses Ereignisses ist da, wo die Spuren, welche zu ihm führen, anfangen unkenntlich zu werden. Der Anfang der Geschichte der Astronomie reicht bis in eine unbestimmte entfernte Zeit, wo Hirten und Ackerbauer, in glücklicheren und heitereren Himmelstrichen als der unsrige ist, auf den Auf- und Untergang der Sterne aufmerksam geworden sein, und noch Einiges bemerkt haben müssen, worauf unsere Bauern, vermuthlich weil sie die Nächte seltener unter freiem Himmel zubringen, und, wenn es geschieht, unter dreien nur eine heitere finden, nicht aufmerksam geworden zu sein scheinen. Das wovon ich rede sind einige der hellsten Sterne, welche ihre Stellung unter

den übrigen verändern, nämlich die Planeten Mercur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn; Sonne und Mond mussten noch mehr auffallen. — Die Geschichte der Kinderjahre der Astronomie, in welchen man nicht über die roheste Anschauung hinausging, ist sehr uninteressant, und sie wird wirklich widerlich, wenn man das Unbedeutende was sie zu berichten hat, mit der Wichtigkeit, welche viele Schriftsteller darauf gelegt haben, zusammenhält. Unter den Aegyptern, Indiern und Griechen finden wir nicht viel mehr Astronomie als zum Kalendermachen nöthig ist. Nirgends anhaltende, ordentliche Beobachtungen der Himmelskörper; allein doch einzelne, rohe Angaben ihrer Oerter und darauf gegründete Vorschriften zur Berechnung ihrer Stellungen. Dieses alles ist indessen sehr mangelhaft; und von den Versuchen, über diese Regeln hinaus, zur tieferen Kenntnis der Natur der Bewegungen zu gelangen, müssen selbst die unbedingtesten Verehrer des Alterthums wohl zugestehen, dass sie entweder fast thörigt waren, oder nicht durch den einzigen Beweis bekräftigt wurden, den man dafür hätte beibringen können, nämlich durch die Darlegung ihrer Uebereinstimmung mit den Beobachtungen. — Die lange Zeit des mächtigen Römer-Reiches ist eben so leer an Astronomie wie an Allem was nicht zum Wohlleben gehörte oder dem Ehrgeize fröhnte; sie hat uns keine einzige astronomische Beobachtung geliefert. — Etwas besser verhielt sich das Mittelalter, vorzüglich unter den Arabern. Allein der Anfang der Astronomie, der diesen Namen verdient indem

er weiter führte, fällt auf das Ende des 16. Jahrhunderts. Damals wurde aus der Vergessenheit gezogen, was die Griechen gewusst hatten, und es traten Männer auf wie Tycho de Brahe und Copernicus, deren erster Mittel schuf und anwandte, den Himmel zu beobachten, während der letztere die Bewegungen der Erde und der Planeten um die Sonne erklärte. Tiefere Blicke in die Natur der Bewegungen gelangen dem herrlichen Kepler, der unermessliche Anstrengungen machte, um eine Theorie zu finden, welche den Beobachtungen Tychos von Brahe völlig entsprach, der aber auch reichen Lohn für diese Anstrengungen, durch seine glänzenden Entdeckungen, erhielt. Allein noch ein wesentlicher Schritt war zu thun, die Bewegungen der Himmelskörper mussten an die allgemeinen Gesetze der Bewegung angeknüpft werden, welchen, wie Laplace sich ausdrückt, das Staubkorn, welches der Wind auf's gerathewohl wegzuführen scheint, eben so unterworfen ist, wie die Bahnen der Himmelskörper. — Diesen Schritt that Newton. Indem er seine unsterblichen Principia philosophiae naturalis der Welt schenkte, brachte er in die Astronomie eine Einheit und verbannte jede Willkür aus derselben. Jetzt war ihre Aufgabe deutlich ausgesprochen, und so trat sie in das 18. Jahrhundert.

Dieses Jahrhundert musste daher den Anfang der Auflösung dieser Aufgabe machen; die folgenden können das Angefangene nur vervollständigen. Indem die Bewegungen der Himmelskörper nun die frühere Selbstständigkeit verloren hatten, und als nothwen-

dige Folgen eines primitiven Zustandes jeder einzelnen, und der Kräfte, welche auf die sich bewegenden Körper wirken, erkannt waren, war die Aufgabe der Astronomie keine andere, als den primitiven Zustand durch Beobachtungen auszumitteln, und die Statthaftigkeit oder Unstatthaftigkeit eines hypothetisch angenommenen Gesetzes der Kräfte auf dieselbe Art zu prüfen. Newton selbst schlug ein solches Gesetz vor, welches zugleich das einfachste und den bis dahin bekannt gewordenen astronomischen Thatsachen vollkommen entsprechend war, und welches sich durch alles, und zwar sehr Vieles, was später zu den Thatsachen hinzugekommen ist, so auffallend bestätigt hat, dass gar nicht mehr daran gezweifelt werden kann, dass es das wahre Naturgesetz sei. Es ist wirklich möglich, dass noch ausser diesem Gesetze etwas vorhanden ist, was auf die Bewegungen einen kleinen Einfluss erhält; allein, dass es wirklich vorhanden sei, hat noch in keinem Falle gezeigt werden können, und wenn es gezeigt würde, so würde es das eigentliche Wesen der grossen Entdeckung Newtons keinesweges angreifen.

Was die Astronomie leisten muss, ist zu allen Zeiten gleich klar gewesen: sie muss Vorschriften ertheilen, nach welchen die Bewegungen der Himmelskörper, so wie sie uns, von der Erde aus, erscheinen, berechnet werden können. Alles was man sonst noch von den Himmelskörpern erfahren kann, z. B. ihr Aussehen und die Beschaffenheit ihrer Oberflächen, ist zwar der Aufmerksamkeit nicht unwerth, allein das

eigentlich astronomische Interesse berührt es nicht. Ob die Gebirge des Mondes so oder anders gestaltet sind, ist für den Astronomen nicht interessanter, als die Kenntnis der Gebirge der Erde für den Nicht-Astronom ist; ob der Jupiter dunkele Streifen auf seiner Oberfläche zeigt oder gleichmässig erleuchtet erscheint, reizt eben so wenig die Wissbegierde des Astronomen, und selbst die vier Monde desselben interessiren ihn nur durch die Bewegungen, welche sie haben. — Die Bewegungen aller Himmelskörper so vollständig kennen zu lernen, dass für jede Zeit genügende Rechenschaft davon gegeben werden kann, dieses war und ist die Aufgabe, welche die Astronomie aufzulösen hat. Newton gab ihr keine neue, allein seine Entdeckungen begründeten die Hoffnung, die alte vollständig auflösen zu können. Dass dieses möglich sei, glaubte man vorher nicht; man war zufrieden wenn man die Himmelskörper nur ohngefähr an den Ort des Himmels hinrechnen konnte, wo die Beobachtung sie wirklich zeigte. Keplers Vorschriften leisteten dieses, indem sie die grossen Abweichungen von der Wahrheit nicht mehr zeigten, an welche man bis dahin gewöhnt war; allein wenn völlige Uebereinstimmung gefordert wird, so muss man zugestehen, dass die Keplersche Astronomie sie noch nicht hervorbringen kann.

Der Unterschied erscheint, wenn man ihn oberflächlich betrachtet, vielleicht nicht so wesentlich als er wirklich ist; einige Aufmerksamkeit zeigt aber, dass zwischen dem Ohngefähr und Genau eine ge-

waltige Kluft liegt. Denn wenn die Rechnung eine entschiedene Abweichung giebt, so ist sie unrichtig, und zwar, da Jeder sich vor Rechnungsfehlern hüten kann, in ihrem Principe unrichtig, d. h. sie ist auf eine Annahme gebaut, welche nicht das wahre Gesetz der Bewegung ist. Muss man zugestehen, dass man den Ort eines Himmelskörpers nicht so genau berechnen kann, wie die Beobachtungen ihn angeben können, so muss man also damit zugeben, dass man die wahre Natur seiner Bewegung nicht kennt. Dieses ist eben so wahr wenn der Unterschied zwischen der Rechnung und der Beobachtung den kleinsten Theil, den man durch die stärksten Instrumente noch wahrnehmen kann, beträgt, als wenn er auf einen ganzen Grad steigt; es ist wahr wenn ein Unterschied entschieden vorhanden ist, auf die Grösse desselben kommt es nicht an.

Nach Newtons Entdeckung trat sogleich das Bestreben hervor, die Uebereinstimmung zwischen der Beobachtung und der Rechnung vollständig zu machen. Diese konnte nur gelingen, wenn zwei sehr verschiedene Aufgaben aufgelöset werden konnten: es mussten die astronomischen Beobachtungen so vervollkommnet werden, dass sie auch in kleinen Theilen Sicherheit erhielten, und ferner musste die Theorie so entwickelt werden, dass das was man aus ihr berechnen würde, ihr wirkliches Ergebniss und nicht eine mehr oder weniger unvollkommene Annäherung an dasselbe sein mögte.

Das 18. Jahrhundert zeigt uns das Bild einer Wechselwirkung beider Aufgaben aufeinander, welche,

mir wenigstens, als höchst interessant und als das wahre Wesen der Astronomie dieses Jahrhunderts erscheint. Durch Newton hatte die Theorie einen grossen Fortschritt gemacht und war dadurch der Praxis vorgeeilt; diese machte nun Anstrengungen, mit der Theorie wieder in's Gleichgewicht zu kommen: sie musste zuerst die Beobachtungsmethoden verbessern, und die verbesserten Methoden nach einem so ausgedehnten Plane anwenden, dass man Reihen sicherer Beobachtungen erhielte, durch welche man nicht nur die Richtigkeit der allgemeinen Theorie sollte prüfen, sondern auch diejenigen, für jeden Himmelskörper speciell geltenden Bestimmungen sollte erlangen können, deren Kenntnis die Anwendung der allgemeinen Eigenschaften der Bewegung auf jeden Himmelskörper, voraussetzt. Um anschaulicher zu machen, was ich hiermit sagen will, will ich zwei Planeten unseres Sonnensystems, etwa Iupiter und Saturn, beispielsweise anführen: der Bewegung beider liegt, nach Newtons Lehren, dasselbe Gesetz zum Grunde; dennoch beschreibt der Eine eine ganz andere Bahn als der Andere; die Umlaufszeit, die Entfernung, die Figur der Bahn, die Lage derselben — alles ist bei beiden Planeten gänzlich verschieden. — Dieser Unterschied ist das Einzige was den Saturn von dem Jupiter astronomisch unterscheidet, und um ihn kennen zu lernen bleibt kein anderes Mittel, als den, jedem der beiden Planeten eigenthümlichen Zustand der Bahn, aus den Beobachtungen der Oerter, an der Himmelskugel, an welchen er zu verschiedenen

Zeiten erscheint, abzuleiten. Dieser Zustand ist derselbe, den ich vorher den primitiven genannt habe.

Die nothwendig gewordenen Anstrengungen der Praxis der Astronomie wurden, schon zu Newtons Zeit, und zwar auf der Sternwarte zu Greenwich gemacht. Flamsteed war der Mann, der sich das Verdienst erwarb, grosse Verbesserungen der astronomischen Instrumente und der Beobachtungsmethoden einzuführen und beide, auf der genannten Sternwarte, so in Thätigkeit zu setzen, dass er uns, in drei Folianten, denen er den verdienten Titel Historia Coelestis Britannica gab, eine Reihe von Beobachtungen hinterlassen konnte, welche die vollständigste Rechenschaft von den Bewegungen der Himmelskörper, während des Vierteljahrhunderts in welchem er sie verfolgte, gab.

Hierdurch kam die Praxis weiter, als dass die Theorie, in dem unentwickelten Zustande den sie noch besass, ihr hätte folgen können. Ich erlaube mir wiederum. anschaulicher zu machen, was unter dem unentwickelten und dem entwickelten Zustande der Theorie zu verstehen ist. Zuerst werde ich, um bei den schon genannten Planeten zu bleiben, einen derselben, etwa den Jupiter ganz weg denken, also den Saturn und die Sonne als allein vorhanden annehmen. Die neue, von Newton gegebene Lehre, besteht darin, dass alle Körper, am Himmel wie auf der Erde, sich gegenseitig anziehen; welche Anziehung jedoch, beiläufig gesagt, für die irdischen Körper wenig merklich ist, indem die Kleinheit dieser Körper sie so unbedeu-

tend macht, dass man nur durch die allerfeinsten Versuche eine Spur davon hat sichtbar machen können. Indem wir nur den Saturn und die Sonne betrachten, betrachten wir also keine andere Anziehung, als die, womit die Sonne den Saturn und der Saturn die Sonne sich zu nähern streben; diese Anziehungen würden also unfehlbar beide Körper einander immer näher führen und mit dem Zusammenfallen beider endigen, wenn nicht Etwas diesen Erfolg Verhinderndes vorhanden wäre. Dieses ist die nicht mit der Richtung der Anziehung zusammenfallende Bewegung, welche der Saturn, ohne dass wir wissen woher, am Anfange erhalten hat und welche, nachdem er sie einmal besitzt, hinreicht, ihn fortwährend in einer Umlaufs-Bewegung um die Sonne zu erhalten; so dass die Anziehung ihn nicht zum Zusammenfallen mit der Sonne bringt, wohl aber, nach der Vollendung eines Umlaufes einen neuen erzeugt, der dem vollendeten in jeder Hinsicht vollkommen gleich ist. Dieses ist die nothwendige Folge der Newton'schen Lehre von der Anziehung; unumstössliche, mathematische Schlüsse führen von der einen zu der anderen. Denkt man sich aber noch den Jupiter zu der Sonne und dem Saturn hinzu, so zieht auch dieser beide an, und der Saturn erfährt nun, ausser der Kraft, welche, wenn sie allein wirkte, die eben erwähnte regelmässige Bewegung zur Folge haben würde, noch die vom Jupiter ausgehende Anziehungskraft, deren Hinzukommen natürlich nicht ohne Wirkung bleiben kann, also eine Abweichung von der regelmässigen Bewe-

gung erzeugen muss. — Abweichungen dieser Art nennt man Störungen; sie sind eben so verwickelt als das Gesetz, aus welchem sie hervorgehen einfach ist. Die Entwickelung der Theorie ist die Berechnung dieser Störungen; und es wird nun anschaulich sein, wie die unentwickelte Theorie, d. i. die unvollständige, aus welcher man die Störungen weggelassen hatte, den Flamsteed'schen, bis auf Theile von der Grösse dieser Störungen zuverlässigen Beobachtungen, nicht mehr genau entsprechen konnte. — Jetzt musste also die Theorie die ihr vorausgeeilten Beobachtungen einzuholen suchen; allein nachdem sie durch Newton einen so grossen Schritt gethan hatte, war es in der Ordnung, dass ein Stillstand eintrat; man musste sich erst an das Licht gewöhnen, welches die Finsternis so plötzlich zertheilt hatte; man musste aufhören es zu bewundern, ehe man ernstlich daran denken konnte, es gehörig zu benutzen. — Man erkannte jetzt, dass die Aufgabe, die Störungen zu berechnen, eine Schwierigkeit besitzt, welche die äussersten Kräfte der Mathematik in Anspruch nimmt. Vor Newton hatte die Astronomie nicht mehr als die Anfangsgründe der mathematischen Wissenschaften gefordert; jetzt machte sie Forderungen, welche die Mathematiker nicht befriedigen konnten, und welche, da sie doch befriedigt werden mussten, Anstrengungen erzeugten, deren Erfolg dem menschlichen Geiste stets zur höchsten Ehre gereichen wird. Die mathematische Analyse fing an, ihre gewaltigen Kräfte zu entfalten. — Clairaut und Euler löseten, um die Mitte des Jahrhunderts, die

Aufgabe der Störungen; allein sie erschöpften sie nicht, obgleich sie sie über Flamsteeds vorangegangene praktische Leistungen hinaustrieben.

Da sah man die Möglichkeit der Auflösung einer Aufgabe, welche, ausser der astronomischen Wichtigkeit, noch eine äussere besass, und daher nicht nur von den Astronomen, sondern auch von Denen, welche Einfluss auf die Beförderung der Astronomie ausüben konnten, mit allen Kräften unterstützt wurde. Es war erkannt worden, dass man aus einer genauen Kenntnis der Bewegung des Mondes grosse Hülfsmittel für die Seefahrt ziehen könne. Konnte man dahin gelangen, die Oerter des Mondes mit grosser Genauigkeit vorauszuberechnen, so konnte der Schiffer die Länge des Punktes auf dem Meere, wo er sich auch befinden mogte, bestimmen. Die Regierungen der seefahrenden Völker waren zu jeder Unterstützung der Astronomie bereit, welche zu der Auflösung dieser Aufgabe führen konnte, und die so unterstützte Astronomie säumte nicht, das ihrige zu thun. — Zuerst mussten die Beobachtungen noch weiter vervollkomnet werden, als schon durch Flamsteed geschehen war. Dieses geschah durch den grossen Astronomen Bradley, der die Sternwarte zu Greenwich nicht nur im Jahre 1750 mit Instrumenten von einem ganz neuen Grade von Vollkommenheit versah, sondern auch damit eine Reihe von Beobachtungen machte, welche in jeder Hinsicht nichts zu wünschen übrig lässt. Er beobachtete nicht nur anhaltend die Körper des Sonnen-Systems, sondern auch mehr als 3000 Fixsterne, und wiederholte

damit Alles was Flamsteed schon gemacht hatte, jedoch mit ungleich grösserer Genauigkeit und mit einem Beobachtungsgeiste, der die Bewunderung eines Jeden erregen muss, der aus eigener Erfahrung weiss, dass das Zählen der Pendelschläge der Uhr und das Ablesen der Theilungen des Instruments, bei weitem nicht hinreichend sind, eine Beobachtung wirklich brauchbar zu machen.

Nachdem die Beobachtungen in diesen Zustand gekommen waren, konnte ein Deutscher Astronom vom grössten Verdienste, Tobias Mayer, die Bewegung des Mondes gründlich und ordentlich erforschen. Er trug wirklich den Sieg davon, den man mit grosser Anstrengung zu erlangen gesucht hatte; allein er wurde seiner That kaum froh, denn er starb fast mit Bradley zugleich, im Jahre 1762, ehe er seine Arbeit bekannt machen konnte.

Bradley hatte, wie ich schon gesagt habe, die Beobachtungskunst auf eine Höhe gebracht, welche es sehr schwer sein wird, noch beträchtlich zu übersteigen. Er war der Theorie, obgleich sie nun schon beträchtlich weit entwickelt war, wiederum bedeutend vorgeeilt, und die Wechselwirkung, die sich schon mehreremale gezeigt hatte, musste die Theorie zu neuen Anstrengungen treiben. Diese Wechselwirkung trat wirklich auch wieder hervor, und zwei Geometer vom höchsten Range, Lagrange und Laplace, verherrlichten das letzte Viertel des Jahrhunderts durch einen Reichthum mathematischer Arbeiten, welche entweder geradezu astronomische Zwecke hatten, oder, mit

wenigeren Ausnahmen, durch Schwierigkeiten erzeugt wurden, welche die Astronomie dargeboten hatte. Diese Arbeiten, deren Früchte Laplace in einem grossen Werke, der Mécanique - Céleste, zusammenbrachte, haben eine der grossartigsten Ideen, welcher der menschliche Geist sich rühmen kann, verwirklicht, nämlich die Idee, alle Bewegungen, welche sich uns zeigen, aus einem Principe, durch die Kraft der mathematischen Analyse allein abzuleiten, — alle Bewegungen, — von der Bewegung des Schalls in der Luft, also von den Zitterungen, welche die kleinsten Theilchen der Luft annehmen an, — von den Bewegungen der noch unendlich feineren Lichttheilchen an, bis zu den Bewegungen der gewaltigsten Weltkörper hin. Wenn ich mich von dem Gegenstande meines Vortrages einigermassen entfernen dürfte, so würde ich der Versuchung kaum widerstehen können, eine oder die andere der Aussichten, welche wir hierdurch erhielten, Ihrer eigenen Anschauung zu eröffnen, allein ich finde mich noch weit von meinem Ziele und muss jeden Aufenthalt vermeiden.

So wesentlich die Erforschung der Mechanik des Himmels für die Astronomie ist, so ist sie doch nicht selbst Astronomie, sondern diese muss erst auf den Grund gebaut werden, der durch jene gelegt wird. Ich habe vorher schon fühlbar zu machen gesucht, wie die Mechanik nur allgemeine Regeln geben kann, welche für alle Himmelskörper zugleich passen, und deren Anwendung auf die Bewegung eines einzelnen von ihnen, specielle Bestimmungen erfordert,

welche nur durch Beobachtungen und ihre Zusammenstellung mit der Theorie erlangt werden können. Die Astronomie hatte, durch die Entwickelung der Newtonschen Lehre, die Anwartschaft auf einen grossen Reichthum erhalten, und es blieb ihr überlassen, sich in den Besitz desselben zu setzen. Wir wollen sehen was sie bis zum Ende des Jahrhunderts davon wirklich erlangte, und was ihr zu erlangen übrig blieb.

An Anstrengungen fehlte es nicht, und einige Erfolge derselben werden dem Strom der Zeit trotzen. Ich rechne hierher die grossartigen Unternehmungen Herschels, wenn sie auch weniger auf die eigentliche Astronomie, als auf eine physicalische Beschreibung des Himmels gerichtet waren; ferner die Bemühungen um die Entdeckung und Berechnung der Kometen; endlich eine vollständigere Beobachtung der Fixsterne, welche der brave Lalande auf der Sternwarte der Ecole-Militaire vornehmen liess, und welche die Oerter von fast 50000 kleineren Sternen lieferte. Allein trotz dieser lichten Punkte in der Geschichte der Wissenschaft gegen das Ende des Jahrhunderts, und trotz des Eifers, den wir von mehreren Seiten wahrnehmen, geschahen doch nicht so grosse und entscheidende Fortschritte, als die Thaten Bradleys und Tobias Mayers, denen das Jahr 1762 ein Ziel steckte, erwarten liessen. — Sei es nun, dass die Beobachtungen Bradleys, und die nach seinem Tode, auf seiner Sternwarte und mit seinen Instrumenten, ununterbrochen fortgesetzten, Alles zu gewähren schienen was die

Anwendung der Theorie erforderte; sei es, dass kein Führer vorhanden war, der die Lage der Sache im Ganzen übersehen, und die Anstrengungen einem festen Ziele zulenken konnte — genug, das Ende des Jahrhunderts rechtfertigte nicht die Erwartungen, welche seine Mitte erregt. — Die Beobachtungen in Greenwich gingen, wie ich schon gesagt habe, ununterbrochen fort; der Nachfolger des grossen Vorgängers war nicht ohne Verdienst, auch nicht ohne Sorgfalt, indem er die kleinsten Theile, welche die Instrumente angeben konnten, mit noch mehr Anstrengung als früher geschehen war beachtete; — allein dennoch war Bradleys Geist von der Sternwarte gewichen, und die Sparsamkeit im Kleinen ersetzte nicht den Gewinn im Grossen, den Bradleys Umsicht herbeizuführen gewusst hatte. Die Zusammenstellung der Beobachtungen mit der Theorie, aus welcher die Resultate, welche die Astronomie erlangen will, erst hervorgehen müssen, wurde vorzüglich in Frankreich und zwar von Delambre, betrieben, allein er wusste seinen Arbeiten, bei welchen er es nicht an Anstrengung fehlen liess, keinen so festen Grund zu geben, dass sie nicht bald angefangen hätten, wankend zu werden. Man muss glauben, dass beide Astronomen, von welchen ich jetzt gesprochen habe, auf verschiedenen Seiten eines und desselben Hindernisses wegen aufgehalten worden sind: der eine, Maskelyne in Greenwich, beobachtete, ohne sich um den Zweck der Beobachtungen, d. i. ihre Nutzbarmachung für die Astronomie, zu bekümmern; der andere, Delambre,

beobachtete nicht, oder wenigstens nicht so, dass es der Rede werth wäre, sondern bemühete sich, aus den Greenwicher Beobachtungen Nutzen zu ziehen. Wären Beide nicht auf den entgegengesetzten Seiten des Berges stehen geblieben, von dessen Spitze sie eine Uebersicht über das ganze Gebiet der Astronomie hätten erhalten können, so würden ihre ehrenwerthen Bemühungen noch durch bleibendere Erfolge belohnt worden sein.

Die Geschichte der Astronomie im 18. Jahrhundert, von welcher ich einen flüchtigen Umriss zu zeichnen versucht habe, zeigt uns eine fortwährende Wechselwirkung der Theorie auf die Praxis und umgekehrt. Ich glaube, dass beide sich gerade auf diese Weise entwickeln mussten. Es fehlt wirklich an Veranlassung, die Theorie einer Erscheinung über die Grenzen hinaus auszubilden, auf welche unsere Wahrnehmung der Erscheinung beschränkt ist; und es ist eben so wenig Veranlassung vorhanden, die Wahrnehmung zu schärfen, wenn die Theorie, womit man sie vergleichen kann, noch nicht einmal bis an die ungeschärfte Wahrnehmung reicht. — Allein ich glaube dennoch nicht, dass dieser Weg der rechte ist. Direct zum Ziele führt er gewiss nicht; denn er nöthigt den, der ihn betritt, vor jedem neuen Fortschritte, an den Anfang zurückzugehen, um den Weg zu verbessern. — Wir wollen jetzt sehen, welches Zeugniss die Ereignisse im jetzigen Jahrhundert ablegen; auf welche Art die Astronomie demselben

Ziele zugeschritten ist, nach dem auch ihre Bewegungen im vorigen Jahrhunderte gerichtet waren.

Ich muss hier eine allgemeine Betrachtung voranschicken, welche immer ihre Anwendung findet, wenn von der Erforschung quantitativer Bestimmungen die Rede ist, welche einer Erscheinung zum Grunde liegen, deren qualitatives Verhältniss bekannt ist. Man kann die quantitativen Bestimmungen nie erhalten, sondern sich ihnen nur näheren. Alle Beobachtungen geben nicht was sie geben sollen, sondern statt dessen eine Annäherung, welche bis auf weitere oder engere Grenzen der Wahrheit entspricht, je nachdem die Beobachtungsmittel und die Kunst, mit welcher man sie anzuwenden versteht, mehr oder weniger unvollkommen sind. Vollkommen aber können beide nie sein, und daher können weder die Beobachtungen, noch die Resultate, welche man aus denselben zieht, mehr als Annäherungen an die Wahrheit sein. Der Beobachter wendet seine ganze Sorgfalt auf die Verengung der Grenze der Vollkommenheit, und nichts sucht er eifriger als die Verbesserung der Hülfsmittel, deren er sich bedient. Die Zeit und die vollständigere Erkenntniss des Bedürfnisses bringen, in dieser Beziehung, immer bedeutende Erfolge hervor; in allen Zweigen der Naturlehre ist dieses der Fall gewesen, in der Astronomie in einem solchen Masse, dass die anfänglich sehr rohen Beobachtungen gegenwärtig einen wirklich bewundrungswürdigen Grad von Genauigkeit erhalten haben. Aber die allgemeine Natur aller Beobachtungen, nämlich Annäherungen an die

Wahrheit zu sein, haben sie weder verloren, noch werden sie sie je verlieren.

Hieraus folgt, dass die Astronomie sich ihrem Ziele, welches die vollkommene Erkenntniss der Bewegungen der Himmelskörper ist, nur mehr und mehr nähern, dasselbe aber nie rreichen kann. Es würde also unverständig sein, wenn man von irgend einer Zeit fordern wollte, dass sie diese Bewegungen dermassen kennen lehre, dass nie mehr etwas daran zu bessern wäre. Allein die vorhandenen Thatsachen können erschöpft werden, und dieses wird dann geschehen sein, wenn gezeigt worden ist, dass die Rechnung mit allen ihr vorangehenden Beobachtungen, innerhalb der Grenzen der Fehler derselben, übereinstimmt. Jede Zeit muss den Beweis hiervon führen, oder den Tadel tragen, dass sie die Astronomie nicht so gefördert habe wie sie hätte thun können. Denn wenn noch Abweichungen vorkommen, welche die Grenzen der Unsicherheit der Beobachtungen überschreiten, so zeigen sie entweder eine Unvollkommenheit der Kenntniss der Bahnen der Himmelskörper an, und können dann durch Berichtigung derselben weggeschafft werden; oder sie deuten, wenn dieses nicht gelingt, eine Unrichtigkeit oder Unvollständigkeit der physischen Annahme an, auf welche die Rechnung gebauet ist; also gerade das, dessen Erkenntniss einer weiteren Vervollkommnung der Astronomie vorangehen muss.

Der Verfasser der Mécanique Céleste, Laplace, hat wiederholt ausgesprochen, das Newtonsche Gesetz der Anziehung sei hinreichend, alle

Bewegungen am Himmel zu erklären. Es hat wirklich Vieles erklärt, auch sogar sehr häufig etwas angegeben, was die Beobachtungen nachher bestätigt haben; die so oft durch den ausgezeichnetsten Erfolg gekrönten Bemühungen Laplace's, aus dieser Quelle tief verborgene Wahrheiten zu schöpfen, rechtfertigen sein grösstes Vertrauen auf ihren unerschöpflichen Reichthum. Allein meines Erachtens ist der Beweis, dass die auf dieses Gesetz gegründete Theorie alle Beobachtungen vollständig erkläre, nicht wirklich geführt worden; und doch können wir nur durch diesen Beweis die Ueberzeugung erhalten, dass keine andere Ursache auf die Bewegungen mitwirke. Klein von Wirkung müsste eine solche Ursache ohne Zweifel sein, indem, wenn auch der Beweis der vollständigen Uebereinstimmung nicht vorhanden ist, doch nicht geläugnet werden kann, dass die Uebereinstimmung mit starker Annäherung stattfindet. Allein die Astronomie, als Wissenschaft betrachtet, erkennt nichts als klein an, als wovon gezeigt werden kann, dass es sich ihren Beobachtungsmitteln gänzlich entzieht. Es muss also gezeigt werden, dass die Beobachtungen so wenig einen kleinen, wie einen grossen Zusatz zu der Theorie fordern; und wenn sich dieses nicht zeigen liesse, würde die hierdurch einleuchtende Nothwendigkeit, einen Zusatz zu machen, eine eben so willkommene Veranlassung zur Erforschung der Natur des Zusatzes sein, wenn sein Einfluss sich kaum durch die Unvollkommenheiten der Beobachtungen hindurch erkennen liesse, als wenn er augenfällig hervorträte.

Die Astronomie hat einen zu hohen Standpunkt erreicht, als dass es ihr noch anständig sein könnte, andere als völlig sichere Schritte vorwärts zu thun. Nur auf diese Art muss sie sich in dem gegenwärtigen Jahrhunderte, so wie in allen folgenden Jahrhunderten, ihrem Ziele nähern. Die Wechselwirkung der Praxis auf die Theorie und der Theorie auf die Praxis, welche wir im vorigen Jahrhunderte so oft bemerkt haben, muss aufhören; beide Theile müssen, unbekümmert umeinander, unaufhaltsam vorwärts streben. Wenn dieses wirklich geschieht, wird die Astronomie aus dem Jahrhunderte mit einem Glanze hervorgehen, der den Glanz, womit sie in dasselbe eingetreten ist, verdunkeln wird. — Jch habe die Hoffnung, dass es so sein wird: das verflossene Drittel des Jahrhunderts zeigt mir nur das Bestreben, auf sorgfältig geebneten und befestigten Boden, sichere, wenn auch kurze, Vorschritte zu thun. Um Ihnen diese nachzuweisen, werde ich die Ereignisse, welche unter meinen eigenen Augen vorgegangen sind, der Erinnerung zurückrufen, und diejenigen herausheben, welche entweder aus der Idee, die meiner Meinung nach, die leitende sein soll, hervorgegangen sind, oder ihren Erfolg befördert haben.

Der erste Tag des Jahrhunderts wurde durch eine schöne Entdeckuug bezeichnet: Piazzi in Palermo fand am 1. Januar 1801, einen neuen Planeten, die Ceres. Diese Auffindung wurde durch eine grossartige Unternehmung herbeigeführt, nämlich durch eine Reihe von Beobachtungen, deren Zweck die Bestimmung der Oerter von etwa 7000 Fixsternen war: eins von den

Sternchen, welche am 1. Jan. beobachtet waren, hatte am 2. seinen Ort verändert; Piazzi verfolgte ihn weiter, und die Entdeckung war gemacht. Sie hat Einfluss auf die Astronomie gehabt, allein ehe ich diesen verfolge, muss ich das Wesen der Unternehmung, aus welcher sie hervorgegangen ist, in's Licht setzen, denn diese Unternehmung ist wenigstens eben so einflussreich gewesen. — Die Bestimmung der Oerter der Fixsterne hat mehrfaches Interesse: jeder Fixstern hat, weil er ein Himmelskörper ist, der einen Ort und eine Bewegung hat, Anspruch auf die Aufmerksamkeit der Astronomen; gewisse Bewegungen, welche allen Körpern an der Himmelskugel gemeinschaftlich zukommen, können nur durch die Vergleichung der Oerter sehr vieler Fixsterne, welche in zwei von einander entfernten Zeiten beobachtet worden sind, erkannt werden; endlich sind die Oerter der Fixsterne nothwendige Grundlagen aller übrigen astronomischen Beobachtungen, denn man begreift leicht, dass man keinen Ort eines Himmelskörpers würde finden können, wenn nicht irgend ein, seinem Orte nach bekannter Punkt vorhanden wäre, mit welchem man ihn vergleichen kann. Daher sind die Oerter der Fixsterne die Grundlagen der Astronomie, und das Bestreben, sie mit wachsender Vollständigkeit und Genauigkeit festzusetzen und ihre Veränderungen zu erkennen, wird leicht erklärlich. Wir finden dieses Bestreben schon in den ältesten Zeiten; reifere Früchte brachte es, als Tycho de Brahe beobachtete, hervor, reifere durch Flamsteed, noch reifere durch Bradley;

vollständiger wurden sie eingesammelt durch Lalande, in der schon erwähnten Histoire Céleste Française. Piazzi hatte grosse Anstrengungen gemacht um eine Sternwarte in Palermo zu errichten und sie mit herrlichen Instrumenten, Werken des unvergesslichen Ramsden, auszurüsten; als ihm alles dieses nach Wunsch gelungen war, trat er als der Vorangehende im Zuge der Astronomie des neuen Jahrhunderts auf: er lieferte 1803 die Frucht unermesslicher Arbeit, ein Verzeichniss von etwa 7000 Sternörtern; und so ernstlich war seine Absicht, das Vollendetste was seine Hülfsmittel gewähren konnten, hervorzubringen, dass er die ganze Arbeit nocheinmal machte und 1814 mit einer zweiten, durchaus verbesserten Ausgabe seines Verzeichnisses hervortrat. Das war ein würdiger Anfang des Jahrhunderts! der Sinn für gründliche Beobachtung des Himmels war aus dem Schlummer erwacht, in welchem er seit Bradley's Tode gelegen hatte.

An Piazzi's herrliches Unternehmen knüpfte sich die Entdeckung der Ceres; auch diese brachte weitere Früchte hervor. Kaum waren die Beobachtungen des neuen Planeten von Piazzi bekannt gemacht, als Bemühungen, seine Bahn zu berechnen, sichtbar wurden. Man besass noch keine Methode, welche die Kenntniss der Bahn anders als durch eine Rechnung von ziemlich abschreckender Weitläuftigkeit hätte geben können; die Berechnung der Bahnen der Kometen, welche auf ganz gleichen Principien beruhet, jedoch eine Erleichterung darbietet, war schon von Newton gelehrt,

allein verschiedentlich, und am meisten durch eine 1797 erschienene Abhandlung von Olbers vervollkommnet worden. Indessen, die Methode mochte schwierig oder leicht sein, so konnte und musste sie zum Ziele, d. h. zur vollkommenen Anschliessung der Rechnung an die Beobachtungen führen; man durfte nicht vor der Erreichung dieses Zieles ruhen, und wenn es dennoch geschah, so muss man darin einen Beweis der Ungründlichkeit erkennen, welche sich in die Astronomie eingeschlichen hatte, und welche ich schon früher bemerklich gemacht habe. Die ersten Versuche welche hervortraten, lieferten nur Bahnbestimmungen, welche mit den Beobachtungen nicht völlig übereinstimmten, also den Beweis ihrer Unrichtigkeit mit sich brachten; es ist Gottlob! jetzt unbegreifflich geworden, dass dergleichen hat an das Licht treten können. Glücklicherweise hatte aber der Schlummer sein Ende erreicht, und ein grosser Mathematiker — Gauss — lehrte nicht nur die wahre Methode der Auflösung der vorliegenden Aufgabe, sondern wandte sie auch auf den neuen Planeten mit einem Glücke an, welches durchaus nichts zu wünschen übrig liess. Die fortgesetzten Vergleichungen seiner Rechnungen mit den Beobachtungen, erhielten die Astronomen in Thätigkeit, und zeigten ihnen augenfällig den Unterschied des Werthes oberflächlicher und genauer Beobachtungen und Rechnungen. Zach gab damals eine Monatsschrift heraus, welche die Astronomie zum Gegenstande hatte, und, indem sie die Deutschen in fortwährender Bekanntschaft mit den Schritten, welche die Beobachter

und der Rechner zur immer genaueren Erkenntniss der Planeten thaten, erhielt, wenn nicht die einzige, doch eine mitwirkende Ursache geworden ist, dass das neue Leben in Deutschland Wurzel schlug, während andere Länder von Europa mehr oder weniger in der alten Unthätigkeit blieben. — Es ist z. B. bekannt, dass die, bald auf die Ceres folgenden Entdeckungen dreier anderen Planeten, der Pallas, Juno und Vesta, die Frucht Deutschen Eifers sind.

Nachdem das Leben der Astronomie wieder erweckt war, musste man nothwendig bemerken, was erforderlich war, es zu erhalten und zu fördern. Die durch fast 50jährige Sorglosigkeit erzeugte Unsicherheit aller Grundlagen der Astronomie, musste durch Festigkeit ersetzt werden: man musste eine feste Basis für eine möglichst weit entfernte Zeit zu erlangen suchen, welche man mit der durch Piazzi gegebenen für den Anfang des Jahrhunderts in Verbindung setzen, und durch neu vorzunehmende Beobachtungen und Untersuchungen, noch mehr befestigen konnte. Das was ich hier eine Basis der Astronomie nenne, enthält alles, was nöthig ist, um aus gemachten Beobachtungen eines Himmelskörpers, seinen wahren Ort an der Himmelskugel ableiten zu können; denn die Beobachtungen selbst ergeben ihn nicht unmittelbar, sondern sie geben nur das woraus er abgeleitet werden kann, wenn alles zu dieser Ableitung nöthige schon durch vorangegangene Untersuchungen vollständig gefunden ist. Alles dieses zusammen, einschliesslich der Oerter der Fixsterne, muss man kennen, ehe man aus den Beobach-

tungen irgend einen Nutzen ziehen kann; es kann aber selbst nicht anders als durch Beobachtungen gefunden werden, also nicht mit absoluter, sondern nur mit begrenzter, von der Güte der Beobachtungen abhängiger Genauigkeit. Es liegt daher am Tage, dass seine Untersuchung sich jedesmal erneuern muss, wenn die Beobachtungskunst einen Schritt vorwärts thut. — Auch dieses war versäumt worden, und die nothwendige Folge davon war, dass man mangelhafte und unrichtige Oerter der Himmelskörper aus den Beobachtungen ableitete, und also die darauf gegründeten ferneren Untersuchungen, auf einen Grund bauete, der durchaus nicht im Stande war das sich immer vergrössernde Gebäude zu tragen. Hieraus erklärt sich der zu geringe Erfolg der Untersuchungen der Bewegungen der Körper, welche zu unserem Sonnensysteme gehören: und wenn man einen besseren erlangen wollte, so musste man das Uebel an der Wurzel angreifen, jeden Stein des alten Fundaments ausbrechen und neue, sorgfältig bearbeitete, zum neuen Fundamente verwenden.

Der Anfang musste, wie ich gesagt habe, mit einer möglichst weit entfernten und zugleich möglichst genauen Beobachtungsreihe gemacht werden. Man zog also den von Bradley hinterlassenen Schatz aus der Unwirksamkeit hervor; man wandte alle Hülfsmittel an, welche die Theorie seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts gegeben hatte, um die wahren Resultate dieser unermesslichen Beobachtungsreihe an das Licht zu fördern. Auf diese Art gewann man eine Grundlage, welche wohl im Stande sein wird, das nach

einem stattlichen Plane angelegte Gebäude der neueren Astronomie zu tragen.

Indessen war das Bestreben, aus den astronomischen Beobachtungen nur vollkommen begründete Resultate zu ziehen, durch eine Entdeckung unterstützt worden, welche auf das erste Jahrzehend des Jahrhunderts fällt, und welche Legendre, indem er sie zuerst vor das Publicum brachte, als Eigenthum gehört, obgleich ich sie schon früher, durch eine mündliche Mittheilung von Gauss, kannte. Diese Entdeckung betrifft die Kunst, aus Beobachtungen aller Art, astronomischen wie physischen, die wahrscheinlichsten Resultate zu ziehen. Um oberflächlich anschaulich zu machen, worin sie eigentlich besteht, will ich ein leicht zu übersehendes Beispiel wählen, und annehmen, dass die Lage einer geraden Linie durch Beobachtungen verschiedener Punkte in ihrem Zuge bestimmt werden solle. Zwei Punkte bestimmen eine gerade Linie vollständig; wenn also zwei Punkte, durch welche sie geht, gegeben sind, so ist sie selbst gegeben. Allein wenn diese Punkte durch Beobachtungen oder Messungen gegeben werden, so werden sie, weil alle Messungen nicht genau, sondern nur Annäherungen an die Wahrheit sind, den Zug der Linie nur näherungsweise angeben; und wenn man, ausser den beiden Messungen noch eine an einem dritten Punkte macht, so wird nicht darauf gerechnet werden können, dass diese genau in den Zug der vorigen Linie treffe. Man kann also, den Zufall, dass alle drei Punkte genau in eine gerade Linie fielen, ausgenommen, durch je zwei derselben

eine Linie ziehen, welche von der durch ein anderes Paar derselben gehenden verschieden ist, allein sich ihr desto mehr nähern wird, je genauer die drei Punkte durch die Messungen bestimmt worden sind. Setzt man diese Betrachtung fort, indem man einen 4., 5. Punkt, oder so viele Punkte wie man will, durch Messungen bestimmt, so ist ersichtlich, dass man, indem man den einen mit dem anderen durch gerade Linien verbindet, eine grosse Anzahl solcher Linien erhalten wird, welche zwar alle eine sehr nahe gleiche Lage haben, doch, in aller Schärfe genommen, nicht zusammenfallen werden. Nun tritt offenbar die Frage hervor, welche von diesen vielen Linien, soll man als die annehmen, über deren Punkte man die Messungen angestellt hat? — Die Entdeckung von welcher ich rede, giebt eine völlig bestimmte Vorschrift, diejenige gerade Linie zu finden, von welcher man zeigen kann, dass sie, besser als jede andere, allen gemachten Messungen Genüge leistet; also die Linie, welche das wahrscheinlichste Resultat der angestellten Messungen ist. — Was ich hier an einem leichten Beispiele anschaulich zu machen gesucht habe, ist völlig allgemein und lehrt also auch die Kunst, aus einer Reihe astronomischer Beobachtungen das allersicherste Resultat zu ziehen, welches sie geben kann. Die Entdeckung einer Methode dieses zu leisten, musste also höchst willkommen seyn, in einer Zeit, deren Bestreben es war, alle astronomischen Resultate so fest als möglich zu begründen. Von dieser Entdeckung an gilt keine Rechnung mehr etwas, von welcher man nicht förmlich

nachweisen kann, dass sie das allervollkommenste Resultat liefert, welches die Beobachtungen zu gewähren vermögen; sie erlaubt, eine jede Anzahl von Beobachtungen zu diesem Resultate zu ziehen, und verkleinert die Fehler desselben bis zum Unbedeutenden, wenn es auf eine sehr grosse Anzahl von Beobachtungen gegründet werden kann. — So viel die Astronomie hierbei gewonnen hat, eben so viel haben ihre Diener verloren: vorher verdienten sie Lob, wenn sie ihre Bestimmungen so geschickt zu machen wussten, dass der ganzen Reihe der Beobachtungen dadurch ziemlich Genüge geleistet wurde; jetzt erwerben sie kein Lob mehr wenn sie den höchsten Punkt, nämlich die vollkommenste Genügeleistung erlangen, vielmehr trifft sie gerechter Tadel, wenn sie davon auch nur ein Weniges entfernt bleiben. Es ist etwas Gesetz geworden, dessen Leistung vorher Auszeichnung war. Bei anderen Gelegenheiten würde man vielleicht Klagen darüber hören, dass immer mehr und mehr der Regel unterworfen wird; die Astronomie ist aber reich genug, für eine genommene Gelegenheit zur Auszeichnung, hundert andere zu geben, und so ist es denn auch hier gewesen! —

Eine zweite Unterstützung hat die Astronomie von einer Seite erhalten, von welcher man sie früher am wenigsten erwartete. In Deutschland nämlich, welches in den mechanischen Künsten noch nichts geleistet hatte, traten zwei Männer hervor, welche sich bemüheten die astronomischen Instrumente noch weiter zu vervollkommnen, als schon von Bird, Ramsden und Troughton in England geschehen war. Dieses

waren Reichenbach in München und Repsold in Hamburg, beide von ausgezeichneten Talenten und mit dem Muthe begabt, der nöthig ist, etwas Neues in einem Lande in den Gang zu bringen, wo es noch an allen Vorbereitungen fehlt. Reichenbach, der jeden Zweig der mechanischen Kunst mit dem Feuer der Jugend aufgriff, der Leitungen für die Salzwerke Baierns mit demselben Erfolge bauete, welchen er bei den astronomischen Instrumenten schon erlangt hatte, trieb die Verfertigung der letzteren bald im Grossen, und versah von seiner Werkstatt in München aus, alle Sternwarten und Astronomen des festen Landes mit Instrumenten, welche gegen das, was England von dieser Art hervorbringen konnte, in keiner Hinsicht zurückstanden, es aber in vielen Theilen übertrafen. Repsold, der mehr darauf ausging, die höchste Vollendung hervorzubringen als viel zu liefern, hat aus diesem Grunde weniger Einfluss auf die Sternwarten erlangt, allein seine vollendete Kunst hat wenigen näheren Freunden bewundrungswürdige Werke hinterlassen, und auch selbst nach England, trotz des Nationalstolzes und des grossen Einfuhrzolls, ein Haupt-Instrument geliefert. — Dieses Aufblühen der mechanischen Kunst traf mit dem Aufblühen der Astronomie in Deutschland zusammen, und gab den Sternwarten, die um dieselbe Zeit, an mehreren Orten neu gegründet wurden, die Möglichkeit, sich so auszurüsten, dass einige von ihnen mit der alten, aber bis auf den heutigen Tag blühenden, Sternwarte in Greenwich, wetteifern konnten.

Dieses war ein sehr glücklicher Umstand. Die, welche die feste Begründung jedes Schrittes zu ihrer Richtschnur gemacht hatten, konnten nun auf eigene Beobachtungen bauen, und erhielten die Möglichkeit, die Beobachtungsmethoden selbst, der strengsten Kritik zu unterwerfen, und ihre Mängel so zu verbessern, dass sie ihrer Absicht völlig entprachen. Es geschahen nun die nöthigen Schritte, um die Grundbestimmungen der Astronomie für unsere Zeit neu festzusetzen, und es ist Grund vorhanden, anzunehmen, dass hierdurch eine Annäherung an die Wahrheit hervorgebracht ist welche die früher erreichte beträchtlich überschreitet.

Jetzt war vorhanden, was einer gründlichen Untersuchung der Bewegungen der Himmelskörper vorangehen musste. Nämlich feste Resultate, aus Bradleys Beobachtungen gezogen, für die Mitte des vorigen Jahrhunderts, und noch festere, auf die neuen Beobachtungen gegründete, für unsere Zeit. Durch beide zusammengenommen kann man sich an die Untersuchung und gehörige Benutzung einer ununterbrochenen, 80jährigen Reihe von Beobachtungen der Sonne, der Planeten und des Mondes wagen, ohne fürchten zu dürfen, diese Arbeit von sehr grosser Ausdehnung, durch spätere Zeiten wieder nutzlos werden zu sehen. Wirklich finden wir einen beträchtlichen Theil dieser Arbeit, nämlich alles was sich auf die scheinbaren Oerter der bei den Beobachtungen benutzten Fixsterne bezieht, schon ausgeführt. Weiter ist es noch nicht gediehen, allein wir finden die Tendenz klar ausgesprochen, welche der übrig bleibende Theil der Ar-

beit haben muss, wenn er ein für allemal — selbst für die spätesten Zeiten — gültig gemacht werden soll.

Allein es blieb noch ein Theil der Astronomie übrig, welcher bisher gar nicht gepflegt war, aber nothwendig aus dem Dunkel hervorgezogen werden musste, wenn das Ganze der Wissenschaft sicher und unaufgehalten seinem Ziele zu gehen sollte. — Dieser Theil enthält die Systeme der Monde der Planeten, die Doppelsterne und anderes — alles was Körper betrifft, welche einander sehr nahe erscheinen. Beobachtungen der Monde der Planeten, vorzüglich des Jupiters und des Saturns, sind, auch wenn es sich um die Bewegungen der Sonne und der Planeten handelt, ein Bedürfniss, dessen Befriedigung man oft entbehrt hat, welches aber nur durch grössere Fernröhre, und zwar eigends zum Messen eingerichtete, befriedigt werden kann und wahrscheinlich aus keinem anderen Grunde unbefriedigt geblieben ist, als weil man entweder die Grösse und Schwierigkeit der Einrichtung zu Beobachtungen dieser Art scheuete, oder, wenn man sich ihr unterzog, sie lieber zum Sehen wie zum Messen anwandte. Auch hier ist wesentlich eingegriffen worden, indem eine unserer Sternwarten, mit einem mächtigen Messwerkzeuge, welches keinen anderen Zweck hat, als den hier gegebenen, versehen worden ist.

Ich habe jetzt das, was mir als das Wesen des Ganges der Astronomie in diesem Jahrhunderte erscheint, so dargestellt, wie es mir selbst lebhaft vor Augen steht. Ich zweifle nicht, den einen Gedanken, an welchen alles sich anreihet, verstanden zu haben.

Die Zeit möge nun weiter entwickeln, was mit Liebe gepflanzt ist! — wir werden dann nicht nur die Astronomie stets so weit fortgeschritten finden, wie die vorhandenen Thatsachen sie führen können, sondern es wird sich auch stets genau darlegen lassen, in wiefern die Ansicht von der Kraft, welche alle Bewegungen regulirt, vollständig oder eines Zusatzes bedürftig ist.

Mein heutiges Ziel habe ich erreicht. Allein ich kann diesen Platz nicht verlassen, ohne noch besonders zu bemerken, dass ich sehr Vieles mit Stillschweigen übergangen habe, nicht etwa weil es mir unerheblich erschiene, sondern weil es Gegenstände betrifft, die mein Thema nicht berühren. Hierher gehören vielfältige Bemühungen die Figur der Erde zu bestimmen; eine ausgedehnte Arbeit zur Erkenntniss der Fixsterne im Allgemeinen, welche die Zahl der, ihren Oertern nach bekannten etwa auf 100000 bringen wird; eine schöne und in grösserer Vollständigkeit als bisher vorgenommene Aufsuchung der Doppelsterne, welche Struve uns geschenkt hat; viele Arbeiten über Kometen; der Anfang einer neuen Beobachtung der Sterne des Piazzi'schen Verzeichnisses, in Finland, unter einem Himmel gemacht, unter welchem Piazzi das anhaltende Beobachten wohl nicht für möglich gehalten haben würde; eine vorzüglich dankenswerthe Bemühung um die Erleichterung der den Astronomen täglich vorkommenden Rechnungen, welche von Encke gemacht ist. Dieses alles verdiente nähere Erörterung, allein meine Zeit ist über und über verflossen!

Ueber das, was uns die Astronomie von der Gestalt und dem Inneren der Erde lehrt.

In der Vorlesung, durch welche ich diese hochgeehrte Gesellschaft vor einem Jahre zu unterhalten suchte, bestrebte ich mich, den Standpunkt zu schildern, auf welchem die Astronomie sich gegenwärtig befindet. So vielen Reiz es für mich gehabt haben würde, bei einzelnen der berührten Gegenstände länger zu verweilen, so musste ich dennoch an jedem derselben rasch vorübereilen, und geflissentlich vermeiden, Einzelnes hervorzuheben. Die Umrisse um alle Gegenstände eines reichen Bildes sollten verzeichnet werden, die Zusammensetzung des Bildes sollte daraus hervorgehen. Eine Ausführung einzelner Gegenstände würde die Blicke auf diese gezogen haben und der Uebersicht des Ganzen hindernd entgegengetreten sein. Von einer gleichförmigen Ausführung des ganzen Bildes konnte gar nicht die Rede sein.

Aber die Ausführung ist hier und allenthalben nothwendig, wo aus Umrissen ein Bild werden soll.

Es war daher meine Absicht Einzelnes in der Folge weiter auszuarbeiten. Heute mache ich den Anfang damit, indem ich zu zeigen beabsichtige, wie die Astronomie zu einer Kenntniss des Aeusseren, und sogar zu Andeutungen über die Beschaffenheit des Inneren der Erde hat führen können, und was für Kenntnisse dadurch erlangt worden sind. — Ich gestehe, dass es mir einige Ueberwindung gekostet hat, mit der Beschaffenheit eines der Körper unseres Sonnensystems, und nicht mit einem reinen astronomischen Gegenstande, nämlich einem die Bewegungen betreffenden, anzufangen: allein der Körper, von dessen Beschaffenheit ich reden werde, ist unsere Erde — und wenn diese Entschuldigung der getroffenen Wahl noch nicht hinreicht, so kann ich das Beispiel der letzten 100 Jahre vorschieben, welches uns zeigt, dass man Fragen nach der Beschaffenheit der Erde mit besonderer Vorliebe gethan und beantwortet hat. Wirklich ist die Aufopferung von Scharfsinn, Kräften und (um eine Hauptseite nicht unerwähnt zu lassen) von Geld, die man gemacht hat, um diese Fragen zu beantworten, ausserordentlich gross gewesen; grösser als ein anderer Zweig der Astronomie sie genossen hat. Im Allgemeinen ist hieran nichts zu tadeln, zumahl wirklich Etwas dadurch erlangt worden ist; aber ein astronomisches Gewissen würde nicht gern zu verantworten übernehmen, dass so grosse Kräfte nicht auch auf andere Theile der Wissenschaft vertheilt worden sind.

Um einen bestimmten Begriff der Figur der Erde auffassen zu können, muss man Berge und Länder

wegdenken, also für die rauhe Oberfläche eine glatte setzen, die von Wasser bedeckt sein könnte, ohne dass es strömte. Nur von dieser Oberfläche kann die Astronomie etwas festsetzen; will man Berge und Thäler kennen lernen, so muss man sie an Ort und Stelle aufmessen. — Die Erklärung dieser Oberfläche, dass sie von ruhigem Wasser bedeckt sein kann, zeigt ohne Weiteres eine wesentliche Eigenschaft derselben, nämlich die, „dass sämmtliche, an jedem Punkte der-„selben, wirkende Kräfte, sich in eine einzige zusam-„mensetzen lassen, deren Richtung genau senkrecht „auf die Oberfläche ist.“ Denn wenn dieses nicht wäre, so würde das Wasser nicht ruhig werden können, indem es, als Flüssigkeit, durch den allerkleinsten, nicht senkrecht auf seine Oberfläche wirkenden Druck in Bewegung geräth. Diese Eigenschaft ist die Grundlage jeder Schlussfolge über die Figur der Erde. Sie giebt auch die Möglichkeit, die Richtung der Oberfläche, selbst an der unebensten Stelle der Erde, zu erkennen. Wenn nämlich eine Flüssigkeit in einem Gefässe zur Ruhe gekommen ist, so weiss man, dass die Oberfläche der Erde nothwendig der Oberfläche der Flüssigkeit parallel ist, weil selbst die kleinste Neigung beider gegeneinander die Ruhe der Flüssigkeit unmöglich machen würde; da ferner die Ruhe nur eintreten kann, wenn die Kraft senkrecht auf die Oberfläche der Flüssigkeit gerichtet ist, so steht alles was in der Richtung der Kraft befindlich ist, senkrecht auf der Oberfläche der Erde: dieses gilt von dem Faden eines ruhig hängenden Lothes, dessen Richtung also

ein zweites Mittel gewährt, die Richtung der Erdoberfläche zu erkennen. Endlich fallen schwere Körper in der Richtung des Lothes, also auch senkrecht auf die Erdoberfläche; sie deuten also ebenfalls die Richtung dieser Oberfläche an. — Allein sie leisten noch mehr; nämlich die Schnelligkeit ihres Fallens giebt das Mass der Kraft, welche an dem Punkte der Erde wirkt, an welchem sie fallen: durch Beobachtung dieser Schnelligkeit kann man also erfahren, ob an allen Punkten der Erde eine gleiche Kraft wirkt, oder ob dieselbe sich von dem Aequator gegen die Pole zu ändert.

So offenbar die Eigenschaft der Erdoberfläche ist, welche ich eben angeführt habe, eben so reichhaltig ist sie in den Folgerungen, welche man darauf gründen kann. Es lässt sich z. B. leicht dadurch zeigen, dass die Erde keine Kugel sein kann. Es ist dazu nur nöthig, die Ursachen in's Auge zu fassen, aus welchen die Kraft entsteht, von welcher das Fallen der schweren Körper eine Folge ist. Diese Kraft hat zwei Ursachen, welche sich zu der ganzen, sich uns zeigenden Wirkung vereinigen: die eine ist die Anziehung aller Theilchen des ganzen Erdkörpers auf jeden Punkt der Oberfläche. Jedes dieser Theilchen sucht den Punkt zu sich zu ziehen, und wenn es allein vorhanden wäre, würde der Punkt sich wirklich in der Richtung nach dem Theilchen bewegen; allein es sind unzählige Theilchen vorhanden, deren jedes ähnliche Ansprüche macht; der Punkt, der nicht einmal zwei, geschweige denn unendlich vielen verschiedenen Richtungen zu-

gleich folgen kann, wird durch das Zusammenwirken aller Theilchen nur in einer Richtung in Bewegung gesetzt werden können, welche durch die Bedingung bestimmt wird, dass die Abweichungen von ihr, welche die auf einer Seite liegenden Theilchen, nach dieser Seite hervorzubringen streben, von den entgegengesetzten Bestrebungen der Theilchen auf der anderen Seite vernichtet werden. — Die andere Ursache ist die Drehung der Erde um ihre Axe, welche jeden Punkt auf ihrer Oberfläche zwingt, in der Zeit eines Tages einen Kreis zu beschreiben, dessen Halbmesser die Entfernung des Punktes von der Axe ist. Die aus dieser Ursache entstehende Kraft ist genau dieselbe, welche man an einem schweren Körper bemerkt, der an einem Faden befestigt, schnell in einem Kreise herumbewegt wird: man muss den Faden fest halten, damit der Körper nicht entfliehe; die hierzu erforderliche Kraft, welche sich bei jeder Bewegung in einem Kreise, stärker oder schwächer, jenachdem die Schnelligkeit der Bewegung grösser oder kleiner ist, äussern muss, nennt man, bezeichnend genug, die Fliehkraft. Eine solche Fliehkraft erhält also jeder Punkt an der Oberfläche der Erde durch die Drehung derselben um ihre Axe, und wenn er ihr nicht folgt und die Erde verlässt, so ist der Grund davon die Anziehungskraft, welche ihn stärker zur Erde zurückhält als die Fliehkraft ihn zu entfernen sucht. Es wirken also zwei verschiedene Kräfte an der Oberfläche der Erde; sie wirken in verschiedener Richtung, die letztere überdies weit schwächer als die erstere. Da ein freigelassener

Körper nicht beiden Kräften zugleich folgen, also sich nur in einer Richtung bewegen kann, so ist augenscheinlich, dass man an der Erdoberfläche nur eine Kraft, die aus beiden zusammengesetzte, welche in einer mittleren Richtung wirkt, wahrnehmen kann. Diese vereinigte Kraft muss also auf der Oberfläche der Erde senkrecht stehen. — Jetzt liegt am Tage, dass die Erde keine Kugel sein kann: wäre sie es, so würde die Anziehungskraft nach ihrem Mittelpunkte, also schon für sich senkrecht auf die Oberfläche gerichtet sein; das Hinzukommen der Fliehkraft ändert diese Richtung, die also nun die Oberfläche nicht mehr senkrecht treffen kann. Damit sie dieses, wie nothwendig ist, wirklich thue, muss also die Figur der Erde von der Kugel verschieden sein. Findet man eine Figur, auf deren Oberfläche die ganze Kraft senkrecht steht, so ist sie die Figur der Erde, welche Figur also von der Figur des Starren der Erde gänzlich abweichen kann und z. B. selbst dann ein Ellipsoid sein müsste, wenn das Starre der Erde eine Kugel wäre.

Die bisherige Geschichte des Menschengeschlechts bietet uns 4 Perioden dar, deren Begrenzungen von den Geschichtsforschern aber nicht anerkannt worden sind. Die Grade der Fortschritte im Verstehen des Buches der Natur bestimmen diese Grenzen. — Diejenige Periode, welche wir „vor der Sündfluth“ nennen, ist die, in welcher das Menschengeschlecht das Gehen lernte und Kinderspiele trieb, ohne sich um das Buch der Natur zu kümmern. Die Psalmen Davids und die Gesänge Homers fallen in die zweite

Periode, in welcher man seine Buchstaben kennen lernte, aber nicht ahndete, dass ihre Zusammensetzung einen Sinn haben könne. Die dritte Periode ist die des Buchstabirens; sie geht nach Homer an, denn seine Gesänge zeigen noch die wunderlichsten Vorstellungen von der Erde, andere als hätten vorhanden sein müssen, wenn man auch nur eine einzige Zeile des Buches der Natur hätte deuten können. Die vierte Periode ist die des Lesens: sie geht von Newton an, und wir können, in der kurzen Zeit von 150 Jahren nur einen kleinen Theil des zu Lesenden gelesen haben. Ob ihr noch eine fünfte Periode folgen wird, ahnden wir nicht: sie müsste wahr machen, was oft, aber ohne Grund, gesagt worden ist, dass die Natur dem Menschen dient.

Dass die Erdoberfläche keine Ebene ist, wurde in der Periode des Buchstabirens erkannt; dass sie auch keine Kugel ist, las Newton.

Er blieb indessen nicht bei der einfachen Schlussfolge stehen, welcher ich eben gefolgt bin, sondern betrachtete die Kräfte nicht allein ihrer Beschaffenheit nach, sondern, gehörig mathematisch, nach ihrer Beschaffenheit und Grösse. Auf diese Art lösete er die Aufgabe von der Figur der Erde vollständiger, und zeigte, dass ihre Meridiane nicht Kreise, sondern Ellipsen sein, das heisst die Figur haben müssen, in welcher ein schräg angesehener Kreis erscheint; das Verhältniss des grössten unter dem Aequator liegenden Durchmessers dieser Ellipsen, zu dem kleinsten, die Pole verbindenden, ging aus der Rechnung wie 230

zu 229 hervor; oder die Abplattung der Erde an den Polen betrug $\frac{1}{230}$.

Indessen konnte dieses Zahlenresultat nur durch die Voraussetzung einer gewissen Beschaffenheit des Inneren der Erde erlangt werden. Es ist in der That klar, dass die Stärke und Richtung der Anziehungskraft, welche die Erde auf Punkte an ihrer Oberfläche äussert, von der Vertheilung der anziehenden Theilchen in ihrem Inneren abhängen müsse. Beide müssen anders ausfallen, wenn die Masse der Erde, deren einzelne Theilchen die Anziehung hervorbringen, gleichförmig im Inneren vertheilt ist, und wenn sie gegen den Mittelpunkt zu dichter wird. Newton konnte seine Rechnung, deren Resultat ich angeführt habe, nur auf die erste Annahme gründen, indem über die Beschaffenheit des Inneren nichts bekannt war; aber wahrscheinlich ist diese Annahme nicht, denn da die gewaltigste Hitze, von der wir uns keine Vorstellung machen können, deren Wirkungen wir aber in der Cristallisation des Urgebürges der Erde vor Augen haben, die Erde anfangs flüssig gemacht hat, so müssen wohl schwerere Theile sich unter leichteren gelagert haben, und demnach die Dichtigkeit gegen den Mittelpunkt zu, progressiv wachsen. Jemehr aber die anziehende Masse um den Mittelpunkt der Erde vereinigt ist, desto näher nach dem Mittelpunkte geht die Richtung der anziehenden Kraft, und desto kleiner wird, der vorher durchgegangenen Schlussfolge gemäss, die Abplattung. Ihre kleinste Grenze, welche bei der allergrössten Verdichtung um den Mittelpunkt erreicht

werden würde, aber sicher bei weitem nicht erreicht wird, ist $\frac{1}{578}$. Da auch das Gegentheil nicht denkbar ist, und also nicht angenommen werden kann, dass die Anfangs flüssige Erde, nach dem Mittelpunkte zu geringere Dichtigkeit haben könne, als an der Oberfläche, so kann man Newtons Zahl als die grösste Grenze der Abplattung ansehen, und diese daher in der Wirklichkeit zwischen $\frac{1}{578}$ und $\frac{1}{230}$ zu finden erwarten. Weiter als bis zu dieser Bestimmung zweier Grenzen, innerhalb welchen die Wahrheit liegen muss, kann die Verfolgung der Bedingung, welche an der Oberfläche erfüllt werden muss, nicht führen.

Genau genommen führt sie nicht einmal so weit. Wenn man selbst die Voraussetzung der regelmässigen Lagerung des Inneren der Erde aufgiebt, und dichtere und weniger dichte Massen ohne Ordnung vertheilt annimmt, so sieht man ohne Mühe, dass diese Ungleichförmigkeit auf die Richtung der anziehenden Kraft, welche aus der ganzen Masse hervorgeht, Einfluss erhalten, und da die Oberfläche der Erde die Richtung der ganzen Kraft an jedem Punkte nothwendig senkrecht durchschneidet, eine unregelmässige Figur erzeugen müsse. — Will man daher die wahre Figur der Erde kennen lernen, so muss man von da, wo die Rechnung durch die Unkenntniss des Inneren aufgehalten wird, durch die Beobachtung weiterschreiten. Doch unnütz und nicht hierhergehörig werden dadurch die angestellten Betrachtungen nicht: sie zeigen die Abhängigkeit der äusseren Figur von der Beschaffenheit des Inneren der Erde; wird jene durch Beobach-

tung bekannt, so können die Schlüsse umgekehrt und eine Angabe über das Innere kann durch Bekanntschaft mit der Figur des Aeusseren erlangt werden. —

Die Astronomen haben drei sehr verschiedene Wege gefunden, auf welchen sie zu der gewünschten Kenntniss der Figur der Erde gelangen konnten. Zwei davon führen ganz durch das Gebiet der Mechanik, schliessen also von gewissen beobachteten Bewegungen auf die Kräfte, welche diese Bewegungen erzeugen, und von den Kräften auf die Ursache derselben, nämlich die Abplattung der Erde; der dritte führt directer zum Ziele. Ich werde alle drei Wege verfolgen.

Ich habe bisher nur die Richtung der anziehenden Kraft betrachtet, welche sich auf der Oberfläche der Erde äussert; ihre Grösse steht aber gleichfalls mit der Figur der Erde im Zusammenhange und verdient daher ebensowohl näher untersucht zu werden. Wäre die Erde eine Kugel und das Innere derselben entweder gleichförmig, oder regelmässig geschichtet, so ist ohne Weiteres zu übersehen, dass die anziehende Kraft an jedem Punkte ihrer Oberfläche eine gleiche Grösse haben würde; diess kann aber nicht mehr stattfinden, wenn die Figur eine von der Kugel verschiedene ist. Ist sie an den Polen abgeplattet, so muss die Kraft unter dem Aequator am kleinsten sein und nach den Polen hin wachsen. Die Grösse des Zuwachses, welchen sie erfährt, hängt offenbar von der Grösse der Abplattung ab; aber nicht von dieser allein, sondern auch von der inneren Beschaffenheit der Erde, oder von der Art der Vertheilung der anziehenden Masse in

dem durch die äussere Figur begrenzten Raume. — Es scheint daher, dass auch eine Beobachtung der Zunahme der anziehenden Kraft kein unbedingtes Resultat für die Abplattung der Erde, sondern nur ein von der unbekannten inneren Beschaffenheit abhängiges, also, so wie die vorige, auf der Richtung der Kraft beruhende Schlussfolge, nur zwei Grenzen angeben könne; allein dieser Schein verschwindet bei einer gründlicheren mathematischen Betrachtung. Die Nothwendigkeit nämlich, dass die Kraft allenthalben senkrecht auf die Oberfläche der Erde gerichtet ist, bedingt, wie wir gesehen haben, eine Abhängigkeit der inneren Beschaffenheit und der äusseren Figur von einander; berücksichtigt man diese Bedingung in der Untersuchung der, gleichfalls von beiden Ursachen abhängigen, Zunahme der Kraft, so findet man, dass die innere Beschaffenheit ganz aus der Betrachtung verschwindet, und erkennt also eine bestimmte Verbindung zwischen der Abplattung und der Zunahme der Kraft. Diese wichtige Bemerkung verdanken wir einem vortrefflichen französischen Geometer, Clairaut, einem der ersten, der Newton's Lehren fruchtbarer zu machen wusste. Er zeigte, dass, wie auch die Lagerung der Schichten im Inneren der Erde beschaffen sein möge, die Summe der Abplattung und der Zunahme der Kraft vom Aequator bis zu den Polen, drittehalb mal so gross sein muss, wie die Fliehkraft unter dem Aequator. Nach diesem Satze war es nun möglich, die wahre Grösse der Abplattung der Erde zu erkennen; es durfte nur, durch wirkliche Beobachtungen

ausgemittelt werden, welche Zunahme die Kraft von dem Aequator bis zu den Polen erfährt. — Ich habe vorhin schon gesagt, dass die Grösse der Kraft gera dezu durch die Höhe gemessen wird, welche schwere Körper in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Secunde, durch ihr Fallen aus der Ruhe, durchlaufen. Diese Höhe kann aber nicht mit Genauigkeit beobachtet werden: man muss eine andere, gleichfalls die Grösse der Kraft angebende Erscheinung zum Gegenstande der Beobachtung wählen. Eine solche ist die Länge desjenigen Pendels, welches seine Schwingungen in einer Secunde vollendet; man hat Mittel gefunden, diese Länge mit der allergrössten Genauigkeit zu beobachten, also auch die Zunahme der Kraft mit derselben Genauigkeit kennen zu lernen. — Um auf diesem Wege wirklich zu der Kenntniss der Abplattung der Erde zu gelangen, hat man die Länge des Secunden-Pendels an sehr vielen Orten der Erde gemessen; in der letzten Zeit haben die Engländer und Franzosen Seeexpeditionen ausgesandt, welche die entferntesten Punkte der Erde besucht haben, um die Pendellänge daselbst zu beobachten. Diese Unternehmungen haben uns einen reichen Schatz von Thatsachen dieser Art geliefert, und uns in den Stand gesetzt zu erkennen, dass die Abplattung der Erde $\frac{1}{288}$ beträgt.

Der andere Weg, welcher zu dieser Kenntniss geführt hat, ist weit schwieriger zu verfolgen; seine Richtung im Allgemeinen werde ich aber angeben können. Man übersieht ohne Mühe, dass die Erde nicht nur Körper an ihrer Oberfläche, sondern auch

entferntere, mit etwas verschiedener Kraft anziehen müsse, jenachdem sie eine Kugel, oder ein von der Kugel abweichender Körper ist: diese Verschiedenheit muss auf die Bewegung der angezogenen Körper Einfluss erhalten; die Ursache derselben muss also in der Bewegung hervortreten. Vorher haben wir von der Verschiedenheit der Länge der Pendel an verschiedenen Punkten der Erde, auf die die Verschiedenheit erzeugende Ursache, nämlich die Abplattung, geschlossen. Jetzt wollen wir auf die Bewegung des Mondes, welcher gleichfalls der Anziehung der Erde unterworfen ist, einen ähnlichen Schluss gründen. Indem die wirkliche Bewegung jedes Körpers, also auch des Mondes, ein Resultat der Kräfte ist, welche auf ihn wirken, und indem die Verbindung zwischen beiden, seit Newton, so vollkommen klar geworden ist, dass man die Bewegung eines jeden Körpers auf das vollständigste berechnen kann, sobald man die auf ihn wirkenden Kräfte kennt, so leuchtet ein, dass wir im Stande sind, die Bewegung zu berechnen, welche der Mond haben müsste, wenn die Erde eine vollkommene Kugel wäre. Vergleicht man nun diese berechnete Bewegung mit der wirklich stattfindenden, aus astronomischen Beobachtungen hervorgehenden, und findet man Unterschiede, so deuten diese auf einen Fehler der der Rechnung zum Grunde gelegten Voraussetzung, welches die Voraussetzung der Kugelgestalt der Erde war; die Grösse der Unterschiede deutet auf die Grösse der Abweichung ihrer wahren Gestalt von der Kugel, oder auf ihre Abplattung. — Laplace

hat, indem er diesen Weg verfolgte, die Abplattung nur so wenig von der, durch die Pendellängen bestimmten verschieden gefunden, nämlich $\frac{1}{305}$, dass der geringe Unterschied ganz in den Grenzen der kleinen Unsicherheit der Versuche und in einer anderen Ursache liegt, welche ich später noch berühren werde. — Ohne die Einsicht in der Verbindung zwischen Ursachen und Wirkungen, welche wir durch Newtons grosse Entdeckungen und durch die Kraft der mathematischen Analyse erlangt haben, würde kaum etwas Auffallenderes gedacht werden können, als die Behauptung, dass der Astronom die Figur der ganzen Erde bestimmen könne, ohne seine Sternwarte zu verlassen, von welcher er vielleicht keine Quadratmeile der Erdoberfläche übersehen kann; dass er sie durch die Beobachtungen eines Himmelskörpers bestimmen könne, welcher keine Spur von der Abplattung der Erde an sich trägt. — Allein durch das ganze Weltsystem schlingt sich das Band der Anziehung; alle seine Erscheinungen werden durch dieses Band verbunden, und das was als abgesonderte Thatsache erscheint, wird selbst in grösster Entfernung, durch die von ihm ausgehenden Fäden, oft vollständiger erkannt als in unmittelbarer Nähe. — Newton hat uns gezeigt, dass das Gewirre, welches die zahllosen Verbindungen von einem Weltkörper zum anderen darstellen, durch Verfolgung eines Fadens abgewickelt werden kann. Dieser Faden ist die mathematische Analyse, und seine Abwickelung ist die Astronomie.

Der dritte der Wege, welche zur Kenntniss der Figur der Erde führen, der geradeste von allen, geht von unmittelbaren Messungen auf der Erdoberfläche aus und führt durch den geometrischen, nicht den mechanischen Theil der Astronomie, zum Ziele. — Ich werde zuerst das Wesen dieser Messungen kurz darstellen: sie sollen die Krümmung der Erde, an der Stelle, wo man sie vornimmt, geben, d. h. den Halbmesser eines Kreises, welcher denselben Grad der Krümmung hat. Man kennt aber den Halbmesser eines Kreises, wenn man die Länge eines Bogens auf seinem Umfange und den ihm am Mittelpunkte gegenüberstehenden Winkel kennt; beides muss man daher auf der Erde messen, wenn man ihre Krümmung erfahren will. Misst man die Entfernung zweier, vielleicht 20, 30, 40 Meilen entfernter Punkte auf der Erde, so erhält man dadurch den Bogen zwischen beiden; der Winkel aber, welcher diesem Bogen gegenübersteht, muss durch Beobachtungen der Sterne gefunden werden. Denkt man sich die Lothlinien an beiden Punkten, von welchen wir schon wissen, dass sie die Erdoberfläche, also auch den auf ihr liegenden Bogen, senkrecht durchschneiden, in's Innere der Erde verlängert, bis sie sich einander treffen, so ist der Winkel an ihrem Durchschnittspunkte der dem Bogen zugehörige; derselbe dessen Messung verlangt wird. Denkt man sich ferner die auf die Erdoberfläche senkrecht stehende Ebene, in welcher dieser Winkel, oder die Lothlinien beider Punkte liegen, und beobachtet man an jedem derselben, in dem Augenblicke, in welchem irgend

ein Stern sich in dieser Ebene befindet, seine Entfernung von der Lothlinie, oder (was dasselbe ist) vom Scheitelpunkte, so ist klar, dass die an beiden Punkten gemachten Beobachtungen dieser Art verschiedene Entfernungen vom Scheitelpunkte geben müssen. Denn beide Lothlinien sind gegeneinander geneigt, und treffen also die Himmelskugel an zwei verschiedenen Punkten, welche genau so weit von einander entfernt sind, als die Neigung der beiden Linien gegeneinander beträgt; von diesen Punkten hat man aber die Entfernungen des Sterns gemessen, sie also genau um die gegenseitige Neigung der beiden Lothlinien, oder um den gesuchten Winkel verschieden gefunden. Dieser Winkel ist also der Unterschied, der an beiden Punkten gemessenen Entfernungen des Sterns vom Scheitelpunkte, und aus seiner Vergleichung mit dem ihm gegenüberstehenden Bogen, geht die gesuchte Krümmung der Erde hervor.

Auf diese Art kann man die Krümmung der Erdoberfläche an verschiedenen Stellen messen. Sind die Meridiane sämmtlich gleiche Ellipsen, so ist die Figur der Erde durch den grössten Durchmesser — den Durchmesser des Aequators — und durch die Abplattung vollständig bestimmt; aus diesen beiden Bestimmungen geht also die Krümmung an jeder Stelle der Erde hervor; und umgekehrt gehen aus der, an zwei, gegen den Aequator verschieden gelegenen Stellen der Erde, nach der vorher erläuterten Art, gemessenen Krümmung, die Bestimmungen des grössten Durchmessers und der Abplattung hervor.

Die ersten ordentlichen Unternehmungeu dieser Art, durch welche die Figur der Erde bestimmt, werden sollte, folgten auf Newtons theoretische, vorher auseinandergesetzte, Untersuchungen. Vor nahe 100 Jahren gingen zwei zahlreiche Gesellschaften von Astronomen von Paris nach dem Aequator und unter den Polarkreis, um an so weit entfernten Punkten die Krümmung der Erde zu messen; man ging so weit, um einen grossen Unterschied der Krümmung zu erhalten, dessen Entstellung durch unvermeidliche Unvollkommenheiten der Beobachtungen, möglichst wenig wesentlich sein sollte. Diese Absicht wurde erreicht und die Abplattung der Erde trat aus der Vergleichung der Resultate beider Unternehmungen deutlich hervor. Der Erfolg reizte Andere, und ähnliche Unternehmungen, sogenannte Gradmessungen, fingen an, sich dermassen zu häufen, dass zu den beiden erwähnten, bis gegen das Ende des Jahrhunderts noch acht spätere hinzugekommen waren. Diese vielfältigen Arbeiten derselben Art scheinen jedoch nicht alle mit derjenigen practischen uud theoretischen Umsicht geleitet worden zu sein, welche, weit mehr als selbst die ausgezeichnetsten Hülfsmittel, einen unzweideutigen Erfolg bedingt.

Zur Zeit der französischen Revolution trat aber ein ähnliches Unternehmen hervor, an dessen Spitze Borda stand, und welches, wegen des Glanzes womit es auftrat, wegen der Einsicht, womit Borda den einzuschlagenden Weg verzeichnete, und wegen seiner näheren Veranlassung, besondere Aufmerksamkeit verdient. Man beabsichtigte die Messung von 12½ Graden,

nahe 190 Meilen, in der Richtung des Pariser Meridians, von Dünkirchen bis nach Formentera; dieser grosse Bogen sollte in mehrere kleinere getheilt und für jeden derselben die Krümmung besonders bestimmt werden. Borda erfand neue Mittel, um in alle Theile der Operation Zuverlässigkeit und Uebereinstimmung zu bringen; die Astronomen Delambre und Méchain führten den grössten Theil der Arbeit aus, Biot und Arago vollendeten sie. — Dieses grossartige Unternehmen wurde als eine National-Angelegenheit angesehen, und sogar so dargestellt, als ginge es von einem allgemeinen (d. i. nicht wissenschaftlichen) Bedürfnisse der Welt aus. — Die Revolution war selbst Princip geworden; sie wollte Neues in der Stelle des Alten, dieses mogte gut oder schlecht sein: man wollte nicht mehr mit den alten Massen messen, nicht mit den alten Gewichten wägen, nicht mit dem alten Gelde zahlen, nicht nach den alten Zeitabtheilungen zählen, nicht durch die alten Grade, Minuten und Secunden die Winkel angeben. Diese Aenderungen sollten in der ganzen civilisirten Welt geltend gemacht werden. Es wurde eine Commission von Gelehrten zusammengesetzt und dieser die Revolution aller Arten von Masseinheiten übertragen; um ihren Beschlüssen allgemeinen Eingang zu verschaffen, wurden aus den mit Frankreich friedlichen oder schon durch seine Waffen bezwungenen Ländern Europas Commissarien zugezogen. Man kam überein, statt des alten französischen Längenmasses, der Toise, ein neues einzuführen, welches aus der Natur selbst hergenommen werden, und daher

keine willkürliche, sondern eine bestimmte Länge haben sollte. Dieses Mass, das Meter, sollte der zehnmillionenste Theil der Entfernung vom Aequator bis zu den Polen der Erde sein, und an dasselbe sollten die Flächenmasse und die Gewichte angeknüpft werden; die Einheit der letzteren sollte z. B. das Gewicht eines kubischen Raumes von $\frac{1}{10}$ Meter Seite, mit reinem Wasser gefüllt sein, und Kilogramm heissen. Zur Grundlage dieses neuen metrischen Systems, sollte die Messung des langen Meridianbogens dienen, von welcher ich schon gesprochen habe. Man wollte, durch eine neue, mit aller möglich scheinenden Genauigkeit auszuführende Messung die Krümmung der Erde in Frankreich bestimmen, und daraus die Entfernung vom Aequator bis zu den Polen der Erde durch Rechnung folgern. — Diese Revolution hatte in der That etwas scheinbares, und es ist nicht zu verwundern, dass sie Eingang fand, zumahl sie von Männern unterstützt wurde, deren Namen Freund und Feind mit gleicher Ehrfurcht aussprach. Allein dennoch war es nur ein consequent, nicht ein fest gebauetes System. Der schwache Grund hatte keine dauernde Tragkraft; was jetzt noch davon steht, sehe ich als eine Ruine an, welche erhalten wird weil man die Mühe scheuet sie wegzuräumen. Die Einheit des Masses ist, ihrer mathematischen Idee nach, eine willkürliche Länge; wie man sie wählt ist gleichgültig, es kommt nur darauf an, die gewählte Länge unverändert zu erhalten, damit man zu jeder Zeit genau wisse, wie gross etwas Gemessenes ist. Da die Wahl der Länge willkürlich

ist, so würde man, falls die Natur Etwas immer in einer genau gleichen Länge hervorbrächte, unfehlbar auf den Gedanken gerathen, mit dieser Länge andere zu messen, oder sie zur Einheit des Mass-Systems zu machen: in diesem Falle läge das Naturmass am Tage; allein der Fall ist nicht vorhanden. Da dennoch die Idee des Naturmasses geltend gemacht werden sollte, so musste man, da man kein Mass fand, etwas Gemessenes zum Mass machen. Das war ein Fehler gegen eine mathematische Idee; ein Fehler einer Art, die nie ungerächt bleibt! — Wir können nichts messen oder beobachten; nur nähern können wir uns dem Werthe einer zu beobachtenden Grösse; geschärfte Beobachtungskunst kann eine sehr grosse Annäherung hervorbringen, aber die unvollkommene Natur der Sinne in Vollkommenheit verwandeln kann sie nicht. Wenn man also etwas in der Natur, dessen Grösse man erst durch Messen erkennt, zum Masse macht, so verpflanzt man die Unvollkommenheit des Messens auf das Mass selbst, welches nun selbst unvollkommen wird, während es seiner wahren Idee nach die gegebene Entfernung zweier Punkte, also ganz bestimmt, sein soll. Dieses innere Uebel tritt desto stärker hervor, je schwieriger die Messung, und je unzugänglicher der Gegenstand ist, den sie betrifft. Das Meter, welches der zehnmillionenste Theil der Länge des Erdquadranten sein soll, könnte nur durch die allerweitläuftigste aller Operationen, nämlich durch die wirkliche Messung von dem Aequator bis zu einem der Pole, durch die Messung eines gänzlich unzugänglichen Gegenstandes, also

durch eine unausführbare Messung gefunden werden. — Dieses lag zwar am Tage, aber man gab deshalb weder die Idee des Naturmasses, noch die Idee dieser Einheit desselben auf: man setzte statt der Messung des Erdquadranten, die Messung des von Paris aus zugänglichen Theils desselben und schloss von diesem Theile, durch Rechnung, auf das Ganze; durch eine Rechnung, welche nur unter der Annahme der völligen Regelmässigkeit der Figur der Erde geführt werden konnte. — Da es nun aber entschieden unvernünftig gewesen sein würde, von Jedem der ein Meter haben will, zu fordern, dass er es aus der Quelle selbst holen solle, so gab man dem Meter eine bestimmte Länge, und decretirte, dass 443,296 Linien der Toise fortan das Meter sein sollen. Hierdurch (und dieses ist wirklich die beste Folge der ganzen Idee!) liess man das Naturmass wieder fahren, und that nichts weiter, als dass man einem gewissen, gewiss nicht dem bequemsten, Theile, des alten Masses einen neuen Namen gab. — Die weiteren Folgen waren voraus zu sehen und sind eingetreten: das Messen auf der Erde hat nicht aufgehört und wird nicht aufhören; jede neue Messung wird zur Vermehrung der Sicherheit des allgemeinen Resultats der früheren beitragen; wir haben die Länge des Erdquadranten schon genauer kennen gelernt und werden sie noch genauer kennen lernen, als sie zur Zeit des Meters bekannt war. Davon ist nun die Folge, dass das Meter nicht mehr der zehnmillionenste Theil des Erdquadranten ist; auch wenn man es so erklären will, eine veränderliche Länge

hat, und also alles Gemessene, ohne dass etwas Neues hinzukömmt, einen schwankenden Werth erhält.

Dass hellen Geistern wie Laplace und Borda, diese unvermeidliche Folge der von ihnen bewirkten Revolution des Messsystems hätte entgehen können ist ungedenkbar; ich habe überdies ein Document in den Händen, aus welchem hervorgeht, dass Legendre, dessen Urtheil über Sachen und Menschen immer gleich treffend war, keinen Werth auf das sogenannte Naturmass legte, auch dass er aus seiner Meinung kein Geheimniss machte. Man muss daher wohl annehmen, dass Laplace und Borda Interessen verfolgt haben, welche von dem ausgesprochenen verschieden sind; sie haben entweder eine an sich wichtige Messung eines Theils der Erde, unter einem Vorwande, der einem revolutionirenden Volke einleuchtend erschien, durchsetzen wollen; oder sie haben von ihren Beschäftigungen die Angriffe ablenken wollen, welche durch eine Revolution, die immer nur ein Ausbruch des Strebens nach Gleichheit ist, auf jeden Reichthum, er bestehe in Geld, Titeln oder Kenntnissen, gemacht werden; oder endlich haben sie der Welt den Vortheil eines allgemeinen Mass- und Gewichts-Systems verschaffen wollen. — Ob diese Vermuthungen richtig sind, überlasse ich Jeden zu beurtheilen. Die beiden ersten sind durch den Erfolg gerechtfertigt, denn die schöne Messung ist durchgeführt; und die damit Beschäftigten haben den Schutz ihrer Arbeiten gefunden, auf welchen sie Anspruch machten. Die dritte ist aber ein frommer Wunsch geblieben: vermuthlich weil das

Bedürfniss, Völker im Messen und Wägen zu vereinigen, welche selbst im Sprechen getrennt sind, nicht stark genug hervortrat, und weil das metrische System in seinem eigenen Grunde nicht haltbar war. Wenn aber zwei Völker eine gleiche Sprache reden, und ihre Trennung daher nur künstlich ist, so sollte man ihre gegenseitige Annäherung durch Gleichmachung ihrer Fusse und Pfunde befördern. Es scheint, dass die Regierungen hierauf nicht so viel Gewicht legen, als sie, meiner Meinung nach, thun sollten; auf jeden Fall ist die Gleichheit der Masse und Gewichte von Nachbarstaaten etwas nicht Gleichgültiges: man soll sie entweder mit Eifer befördern, oder, wenn man die grössere Annäherung nicht will, sich ihr mit Entschiedenheit widersetzen.

Ich kann, nach den auseinandergesetzten Gründen, kein Freund des neuen Mass-Systems sein; in der Folge werde ich es noch weniger sein als bisher, denn es hat mich von meinem heutigen Gegenstande weit entfernt. Die Messung des Pariser Meridianbogens, welche Folge oder Veranlassung dieses Systemes war, entschädigt mich, indem sie mich in den Stand setzt, von der Figur der Erde Genügenderes berichten zu können, als ohne sie möglich sein würde. — Sie hatte nämlich die Folge alles Ausgezeichneten, sie erregte Eifer und erzeugte Nachahmung und wurde hierdurch die Ursache einer vollständigeren Kenntniss. Durch England und Schottland wurde eine ähnliche Unternehmung hindurchgeführt; in Frankreich eine von Westen nach Osten gehende, welche also die frühere senkrecht

durchschneidet und durch ganz Nord-Italien bis zum adriatischen Meere fortgesetzt ist; in den Ländern der ostindischen Compagnie eine dritte; in Dänemark und Holstein eine vierte, an welche sich eine Fortsetzung durch das Hannövrische Land anschliesst; in Russland eine 5te und 6te, welche dann miteinander verbunden wurden. Auch unter dem Polarkreise, im nördlichen Finland, haben Schwedische Astronomen gemessen um die frühere, von französischen Akademikern dort ausgeführte Messung zu prüfen.

Die meisten dieser neueren Unternehmungen sind mit der äussersten Sorgfalt ausgeführt; man hat alle Schwierigkeiten dabei mit so grossem Erfolge zu überwinden gewusst, dass man sicher behaupten kann, dass die unvermeidlichen Fehler der Beobachtungen in so enge Grenzen eingeschlossen sind, dass die Richtigkeit keines Resultats derselben im Wesentlichen mehr bezweifelt werden kann. — Das daraus hervorgegangene Hauptresultat ist aber, dass man keine regelmässige Figur der Erde angeben kann, welche alle diese Messungen zugleich erklärte: es bleiben Unterschiede übrig, deren Erklärung nirgends anders mehr gesucht werden kann, als in Unregelmässigkeiten der Figur der Erde selbst; in Unregelmässigkeiten, deren Ursache, wie ich früher ausgeführt habe, einer unregelmässigen Vertheilung der Massen von verschiedener Dichtigkeit im Inneren der Erde ist. Die Erkenntniss der unregelmässigen Vertheilung im Inneren ist also die nächste Folge des eben ausgesprochenen Resultats. Man hatte in der That schon bemerkt, dass

die Gradmessungen des vorigen Jahrhunderts nicht durch eine Figur der Erde dargestellt werden konnten. Man konnte aber nicht behaupten, dass die Unterschiede nicht durch Unvollkommenheiten der Beobachtungen erklärt werden könnten, und man durfte glauben, dass diese Unterschiede den Beobachtungen, und nicht der Erde selbst zur Last fielen. Jetzt wissen wir das Gegentheil, und haben die volle Ueberzeugung erlangt, dass selbst durch vollkommen scharfe Beobachtungen, nichts anderes erlangt werden kann, als die Kenntniss der Krümmung eines Stückes eines unregelmässigen Körpers. Dieses ist ohne Zweifel übel für die Erdmesser: während sie früher glauben durften, durch Vermehrung der Güte ihrer Operationen, sich der wahren Gestalt der Erde unmittelbar zu nähern, können sie jetzt nicht mehr erwarten, als selbst durch die grösste Sorgfalt und die vollkommensten Hülfsmittel ein unregelmässiges Stück der Erde mehr kennen zu lernen!

Indessen ist die Astronomie glücklicherweise so stark geworden, dass sie eine unangenehme Wahrheit lieber hört, als eine einschläfernde Unwahrheit. So ist es auch hier: die Erkenntniss der Unregelmässigkeit der Erde hat nicht zur Folge, dass man das Messen der Erde als fruchtlos aufgeben muss — nein! im Gegentheil stellt sie es nothwendiger dar als früher, und ändert nur den Gesichtspunkt, auf welchen man zugehen muss. Während man früher glaubte, durch Vermehrung der Genauigkeit der Messung kleinerer Bögen alles Erforderliche leisten zu könenn, hat man

jetzt erkannt, dass man nur von weit ausgedehnten Unternehmungen erheblichen Nutzen ziehen kann, von so weit ausgedehnten, dass die Unregelmässigkeiten der Figur gegen die Grösse der Erdfläche, welche von der Messung bedeckt wird, verschwinden.

Dieses fordert weniger neue Gradmessungen als eine Verbindung der schon vorhandenen untereinander. Es fehlt nur noch wenig und man wird Messungen besitzen, welche, ohne Unterbrechung von den Balearischen Inseln bis nach Lapland, und von dem nördlichsten Theile von Schottland bis nach Dalmatien gehen. Astronomisch bestimmte Punkte, deren eine grosse Zahl durch diese Messungen berührt wird, und deren man noch andere einschieben kann, werden die Krümmung der Erde aller Theile von Europa bestimmen, und die grosse Zahl und die weite Ausdehnung dieser Bestimmungen wird bald die allgemeine Figur der Erde so genau beurtheilen lassen, als die Natur der Sache erlaubt. Die vielen, schon vorhandenen Verbindungen von Gradmessungen, sind zwar in anderer Absicht, allein meistens so genügend ausgeführt, dass sie der gegenwärtigen völlig entsprechen: ihr Zweck war ein geographischer; nämlich es sollte dadurch die gegenseitige Lage einer Anzahl Punkte genau bestimmt werden, welche später zur Grundlage der Aufnahme verschiedener Länder angewandt werden sollten. Dass man dabei die Bestätigungen der Richtigkeit eifrig suchte, welche man dadurch erhalten konnte, dass man von einer Gradmessung ausging und sich an eine andere anschloss, ist der natürliche Grund

davon, dass das was uns jetzt Bedürfniss wird grösstentheils schon vorhanden ist. Eine der ausgedehntesten Unternehmungen dieser Art ist die durch den General-Stab unserer Armee ausgeführte: sie schliesst sich am Rheine an die französische Messung; berührt die Hannövrische; geht durch Schlesien, wo sie mit österreichischen ähnlichen Arbeiten zusammenstösst; wendet sich dann der Weichsel entlang, und wird jetzt mit der astronomischen Bestimmung der Königsberger Sternwarte und mit allen ähnlichen Arbeiten in Russland verbunden. Was davon noch nicht ausgeführt ist, ist das letzte Glied, welches in der grossen fast ganz Europa überziehenden Kette von Messungen noch fehlt.

Obgleich so lange, bis dieses Glied fertig geschmiedet sein wird, noch etwas Wesentliches fehlt, so kann man doch im Ganzen übersehen, welche Beschaffenheit die Unregelmässigkeiten der Figur der Erde haben. Sie sind, im Allgemeinen, nicht so weit ausgedehnt, dass sie das Durchblicken der Figur im Ganzen verhinderten. Diese Grundform scheint fest, oder ganz regelmässig zu sein; die Abweichungen von ihr scheinen so wenig ausgedehnt zu sein, dass, wenn die wirkliche Krümmung an einem Punkte grösser ist als die der Grundform, sie vielleicht schon in 5 oder 10 Meilen Entfernung kleiner gefunden wird. Das wahrscheinlichste Resultat, welches man bis jetzt hat erhalten können, ist, dass die Grundform der Erde eine Abplattung von $\frac{1}{298}$ besitzt.

Die drei verschiedenen Wege, welche man zur Erkenntniss der Figur der Erde eingeschlagen hat,

geben also den Werth der Abplattung $= \frac{1}{288}, \frac{1}{305}, \frac{1}{298}$ — schon so nahe übereinstimmend als die erkannten Unregelmässigkeiten irgend erwarten lassen. Auf dem letzten Wege allein gelangt man zur Bestimmung der Grösse der Erde; obgleich in einer Vorlesung Zahlenangaben nicht am rechten Orte sind, so führe ich doch an, dass der Halbmesser des Aequators 3271953 Toisen gross ist.

Gern hätte ich den Hergang der Messungen auf der Erdoberfläche und am Himmel, durch deren Vergleichung die Krümmung der Erde bestimmt wird, einigermassen anschaulich gemacht; allein, wenn ich auch nicht ganz davon schweigen darf, so werde ich, um Ihre Geduld nicht zu sehr in Anspruch zu nehmen, so kurz darüber weggehen müssen, dass ich die Absicht, anschaulich zu werden, nicht werde erreichen können. Ich werde kurz beschreiben, nicht wie die meisten vorhandenen Gradmessungen gemacht worden sind, sondern wie sie, meiner Meinung nach, jetzt, nachdem man Vortheile und Nachtheile der früheren Verfahrungsarten vor Augen hat, gemacht werden müssen. Ich fange mit dem astronomischen Theile an.

Die allgemeine Idee dieser Beobachtungen, welche ich früher angegeben habe, gestaltet sich in der Ausführung so, dass man kaum ahnden sollte, dass diese Idee und keine andere wirklich ausgeführt wird. In der Ausführung ist nicht die Rede davon, einen Stern an beiden Endpunkten, in einem und demselben Zeitmomente, in dem Momente wenn er durch die, durch beide Punkte und ihre Lothlinien gelegte Ebene geht,

zu beobachten. Man könnte dieses gar nicht einmal ausführen, indem diese Punkte viel zu weit entfernt sind, um den einen von dem anderen sehen zu können; es ist aber auch durchaus nicht nöthig, indem man Beobachtungen, welche zu einer Zeit gemacht sind, durch astronomische Rechnung auf eine andere Zeit übertragen kann. Z. B. habe ich im vorigen Sommer in Trunz beobachtet, und im nächsten werde ich erst in Memel beobachten, und dennoch diese ein Jahr entfernten Beobachtungen, durch Rechnung so verwandeln können, als wären sie gleichzeitig gemacht. — Ferner ist nicht einmal die Rede davon, die Entfernungen der Sterne von dem Scheitelpunkte, die der Idee und der Wirklichkeit nach nothwendig sind, unmittelbar zu messen: es wird etwas anderes beobachtet, woraus aber das eigentlich erforderliche, genauer und sicherer berechnet werden kann, als man es wirklich messen könnte. Man stellt ein Instrument auf, welches so eingerichtet ist, dass es sich um eine genau horizontale Axe dreht, so dass sein Fernrohr einen Kreis an der Himmelskugel beschreibt, welcher durch den Scheitelpunkt geht. Dieses einfachste, aber eben desshalb vollkommenste Instrument, das Passagen-Instrument, ist das einzige Beobachtungsmittel dessen man sich bedient: man beobachtet damit die Zeiten, wann der Stern, dessen Entfernung vom Scheitelpunkte man erfahren will, sowohl auf der einen, als auf der entgegengesetzten Seite dieses Scheitelpunktes durch die Fäden des Instrumentes geht. Diese Zeiten sind hinreichend, das Erforderliche durch Rechnung zu geben,

und sicherer zu geben als man es durch irgend ein anderes Mittel erlangen könnte. Man misst also die Krümmung der Erde durch die Uhr, und nicht durch die Eintheilungen eines Instruments. Auf noch nähere Erklärungen darf ich mich nicht einlassen.

Der andere Theil der Operation, der nicht am Himmel, sondern auf der Erdoberfläche gemacht wird, kann offenbar auch nicht so ausgeführt werden, dass man von dem einen Punkte zum anderen in ununterbrochener Linie wirklich mässe. Dieses würde im Allgemeinen unausführbar sein, weil Berge und Wasser zu überschreiten sind; und wenn es ausführbar wäre, würde es eine endlose Zeit erfordern und keine Genauigkeit gewähren. Wirklich misst man nur eine sehr kleine Entfernung, diese aber mit der allergrössten Vorsicht und durch Hülfsmittel, deren allerzweckmässigste, jede Möglichkeit eines merklichen Fehlers ausschliessende Einrichtung, den Scharfsinn der Astronomen und Künstler vielfältig in Anspruch genommen hat. Die beiden Punkte, deren Entfernung man so misst, werden durch zweckmässig eingerichtete Mauerwerke dauerhaft bezeichnet; von dieser Grundlinie aus wird die Lage und Entfernung anderer, ähnlich bezeichneter Punkte dadurch bestimmt, dass man die Winkel der Dreiecke, welche sie mit der Grundlinie bilden, mit der grössten Genauigkeit misst. Von den nächsten Punkten geht man, auf dieselbe Art, zu entfernteren über, und erlangt so bald die genaue Kenntniss der Entfernung zweier, drei oder vier Meilen von einander entfernter Punkte, welche man nun zu

der Grundlinie eines grösseren Dreiecksnetzes macht, welches so weit fortgesetzt wird, dass es am Ende die Entfernung und gegenseitige Lage der beiden Hauptpunkte, an welchen man die astronomischen Beobachtungen gemacht hat, oder machen wird, ergiebt.

Alle einzelnen Theile dieser verschiedenen Operationen hat man bis auf die äusserste Grenze der erreichbar scheinenden Sicherheit und Genauigkeit zu treiben gesucht, so, dass wenn sie auch durch die daraus hervorgehende Kenntniss der Figur der Erde kein Interesse erhielten, sie schon wegen ihres Einflusses auf die astronomische Beobachtungskunst im Allgemeinen, die Theilnahme der Astronomen erregen würden. Um die raffinirte Kunst, womit man jede Einzelnheit zu vervollkommnen gesucht hat, einigermassen bemerklich zu machen, will ich ein Paar Worte über die Mittel sagen, wodurch man die Winkelpunkte der Dreiecke sichtbar gemacht hat. Es ist der Genauigkeit der Operation höchst günstig, wenn man das Netz aus sehr grossen Dreiecken zusammensetzen kann; man zieht daher die allerentferntesten Punkte, die man, den einen von dem anderen, noch sehen kann, in das Netz, und kömmt häufig auf Entfernungen, in welchen man, selbst mit den besten Fernröhren, einen irdischen Gegenstand nicht mehr, oder nicht mehr deutlich unterscheidet. Entfernungen von 6, 8, 10 Meilen und mehr, sind höchst willkommen, und man wählt die Dreieckspunkte auf den grössten Höhen im Lande um so weite Aussichten zu erhalten. Es muss also für ein Mittel gesorgt werden, wodurch in einer so

grossen Entfernung, in welcher alle irdischen Gegenstände blass und undeutlich erscheinen, ein einziger Punkt genau unterschieden und zum bestimmten Zielpunkte für das Instrument gemacht werden kann. — Das was dem Punkte fehlt muss ihm gegeben werden, nämlich Licht: man hat daher eine reflectirende Argandsche Lampe, von der Art die man auf den Leuchtthürmen anwendet, in den sichtbar zu machenden Punkt gebracht, oder vielmehr, da eine nicht weit genug sichtbar ist, eine Anzahl derselben; diese Lampen beobachtete man bei Nacht. Allein sie lassen Vieles zu wünschen übrig: denn abgesehen davon, dass sie den Beobachter zwingen, die Nächte auf einer meistens sehr unwirthbaren Station zuzubringen, oft auf dem ewigen Schnee eines Berges, gewähren sie in dem Falle, dass mehrere nöthig sind, keinen bestimmten Zielpunkt und zwingen also, die Mitte einer sich darstellenden Lichtmasse, für diesen anzunehmen, ohne dass man sich überzeugen kann, dass diese Mitte wirklich dem Punkte entspricht, der signalisirt werden soll. — Man hat aber eine völlig verschiedene Art, das Licht wirken zu lassen, gefunden, und ein so kräftiges Licht angewandt, dass das Tageslicht seiner Sichtbarkeit kein Hinderniss in den Weg legt; man hat das Sonnenlicht selbst benutzt, welches man von dem sichtbar zu machenden Punkte, genau in der Richtung des Punktes, von welchem jener gesehen werden soll, durch einen Spiegel reflectirt. Schon ein sehr kleiner, einen oder zwei Zoll grosser Spiegel bringt die erforderliche Wirkung hervor, denn er erscheint leb-

haft glänzend, selbst mit blossen Augen sichtbar, in einer Entfernung von 5 oder 6 Meilen; mit Fernröhren aber sieht man ihn in den allerweitsten Entfernungen, und es ist keine Grenze dafür vorhanden, als die durch das Zwischentreten der Krümmung der Erde verursachte, über die man bei immer grösser werdender Entfernung, am Ende nicht mehr hinwegsehen kann. Es kömmt nur darauf an, dem Spiegel die Richtung zu geben, in welcher er das Sonnenlicht genau nach dem Punkte reflectirt wo es gesehen werden soll; dazu geeignete Vorrichtungen, welchen Gauss, der diese glänzende Erfindung gemacht hat, den Namen des Heliotrops gegeben hat, erfüllen ihre Absicht vollkommen und beseitigen also jede Schwierigkeit. — Indessen hat ein Engländer Drummond, noch ein anderes Mittel angegeben, welches dem Heliotrope nur in sofern nachsteht, als es bei Nacht angewandt werden muss, wogegen seine Anwendung aber von dem Sonnenscheine, den das Heliotrop erfordert, unabhängig wird. Dieses Mittel beruhet auf der fast wunderbaren Lichtmenge, welche ein kleines Stück Kalk entwickelt, wenn man es in einem Gemische von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas glühet; Drummond lässt beide Gasarten, durch zwei Röhren, auf ein vielleicht nur eine Erbse grosses Stückchen Kalk strömen und zündet dann das Wasserstoffgas an, worauf die gewaltige Lichtentwickelung folgt, die er dadurch noch weit lebhafter macht, dass er das Stückchen Kalk in den Brennpunkt eines parabolischen Hohl-Spiegels legt. Versuche, die man am Trinity-House, in der Absicht

die Leuchtthürme durch das Drummond'sche Licht zu verbessern, in der Gegenwart vieler Zuschauer angestellt hat, haben sehr auffallende und die Erwartung noch übertreffende Resultate gegeben: man hat z. B. an einem Abend wo leichter Nebel in der Luft zu schwimmen schien, einen kegelförmigen, von dem Spiegel ausgehenden, erleuchteten, und sich wie der Schweif eines Kometen am Himmel zeigenden Raum über zwei deutsche Meilen weit in der Luft verfolgen können. — Durch diese Erfindungen ist also für das Signalisiren der entferntesten Punkte gesorgt: für Alles andere ist wenigstens eben so gut gesorgt. Da die Bemühungen der Astronomen um die Gradmessungen, eben so sehr von dem Wunsche, die Hülfsmittel der practischen Astronomie zu vervollkommen, gereitzt worden zu sein scheinen, als von dem Verlangen nach der genaueren Kenntniss der Erde, so könnte ich von jedem einzelnen Theile dieser Operationen vieles mittheilen, welches zeigen würde, dass man alle zu einer Vollkommenheit gebracht hat, welche der des eben angeführten, und nur weil ich seiner am kürzesten erwähnen konnte, zum Beispiele gewählten Theils, wenigstens gleich ist. — Wenn ich davon schweige, so geschieht es weil ich den Zweifel, Sie durch zu grosse Länge meiner Vorlesung ermüdet zu haben, der Gewissheit vorziehe.

Ueber die physische Beschaffenheit der Himmelskörper.

Meine heutige Vorlesung knüpft sich an die, durch welche ich diese hochgeehrte Versammlung vor einem Jahre zu unterhalten gesucht habe. Damals war von der Figur der Erde die Rede; ich bemühete mich, zu zeigen, durch welche Art des Raisonnements und durch welche Art der Beobachtungen, wir die Kenntnisse von der Erde erlangt haben, welche wir besitzen. Damals fanden wir in der Unmöglichkeit in das Innere der Erde zu dringen und das Gesetz der Dichtigkeit ihrer Schichten zu erforschen, die Grenze unserer Kenntniss. Heute werde ich mich bemühen, zu entwickeln, was wir von der Beschaffenheit der übrigen Körper unseres Sonnensystems wissen; wir werden auch hier auf eine Grenze stossen, auf die, welche unsere Sehekraft uns setzt. Wir können zuweilen diese Grenze überschreiten, da wo das Raisonnement uns darüber hinausführt; öfter werden wir daran stehen bleiben müssen. Wo weder die unmittelbare Wahrnehmung, noch eine Reihe sicherer

Schlüsse uns weiter führt, müssen wir bleiben; das Umherirren ohne solche Leitung hat den Astronomen, seitdem die Astronomie eine Wissenschaft geworden ist, nie zugesagt; die, die Geschmack daran gefunden haben, mögen geistreiche Leute genannt worden sein, Astronomen aber sind sie nicht gewesen.

Wir wissen wenig von der Beschaffenheit des Mondes, der Sonne und der Planeten; nichts was unserer Kenntniss der Beschaffenheit der Erde einigermassen verglichen werden könnte. Unser Auge leistet nur in geringer Entfernung die Dienste, zu deren Leistung es vorhanden ist; in einer Entfernung, welche ganz unbedeutend erscheint, wenn wir sie mit den Entfernungen im Planetensysteme vergleichen; welche selbst dann noch unbedeutend ist, wenn wir sie mit der Entfernung des Mondes messen, der doch zur Erde gehörig ist und gewissermassen einen Bestandtheil derselben ausmacht. Kräftig wie die Verstärkung des Auges durch das Fernrohr ist, ist sie viel zu schwach, um uns von der Oberfläche des Mondes ein Bild zu geben, welches mehr als eine äusserst summarische Uebersicht gewähren könnte.

Ich werde, durch einen Ueberschlag über die Leistung des durch die stärksten Fernröhre unterstützten Auges, das Folgende anschaulich zu machen suchen. Man hat es sowohl durch Spiegel-Teleskope als durch grosse achromatische Fernröhre, dahin zu bringen gewusst, dass man einen Gegenstand, der am Auge einen Winkel von einer Secunde einschliesst, unter den günstigsten, jedoch in unserem Clima sehr seltenen

atmosphärischen Umständen, so bestimmt sieht, dass man unterscheiden kann, ob er rund, oder beträchtlich von der runden Figur verschieden ist. Diese Secunde beträgt in der Entfernung des Mondes etwa 6000 Fuss oder ¼ Meile; in der Entfernung der Sonne 100 Meilen, in der Entfernung des Jupiters 500 Meilen. Was diese Grössen erreicht, kann seiner Figur nach unterschieden werden; was unter denselben bleibt, kann, wenn es hell genug ist, zwar als ein Punkt erkannt werden, allein eine Figur hat dieser Punkt für uns nicht mehr. — Von dem Monde aus gesehen, würde also unsere Stadt, wenn sie sich übrigens durch Licht und Farbe hinglänglich von ihrer Umgebung unterschiede (was, beiläufig gesagt, wohl nicht der Fall ist) nicht nur erkannt, sondern auch ihrer Figur nach einigermassen beurtheilt werden können; von der Sonne würde der zwischen der Elbe und der Memel liegende Theil des Preussischen Staats als ein Punkt ohne Figur, unser ganzer Staat aber als ein etwas länglichter Punkt erscheinen; vom Jupiter aus würde sich ganz Europa nur als ein Punkt zeigen. — Um noch anschaulicher zu machen, welche Einzelnheiten der Erdoberfläche man bei diesen Verkleinerungen noch würde wahrnehmen können, muss man sich die Erde in den ihnen entsprechenden Massstäben dargestellt denken. Soll eine viertel Meile auf einer Karte gerade sichtbar werden, so wird der Massstab derselben 30 Meilen auf einen Zoll bringen; der Theil unseres Staats, welcher zwischen der Elbe und der Memel liegt, wird also einen Raum von 3 Zoll einnehmen, und die nach diesem

Massstabe verfertigte Karte wird so speciell sein, als man die Erde vom Monde, oder umgekehrt den Mond von der Erde sieht. Was man also auf einer solchen Karte nicht mehr erkennen kann, können wir auch auf dem Monde nicht mehr erkennen. Auf der Sonne bleiben uns alle Einzelnheiten verborgen, welche man auf einer Erdkugel von $\frac{1}{8}$ Zoll Durchmesser nicht würde darstellen können. Auf dem Jupiter sehen wir nur so viel Detail, als eine Erdkugel von der Grösse eines Nadelknopfs würde enthalten können. — Diese Schätzungen sind geeignet, anschaulich zu machen, was unsere Fernröhre in so grossen Entfernungen zu leisten vermögen; sie sind den Fernröhren eher zu günstig als zu ungünstig gemacht, und es ist auch nicht gerade wahrscheinlich, dass sie in einer späteren Zeit, wenn man noch mehr Kunst und Geld an die Fernröhre gewandt haben wird, beträchtlich unter der Wirklichkeit bleiben sollten. Sie setzen übrigens voraus, dass die zu unterscheidenden Gegenstände auf dem Monde oder den genannten anderen Himmelskörpern, durch Licht und Farbe hinreichend von ihren Umgebungen verschieden erscheinen; wenn dieses nicht ist, so geben nicht mehr die Einzelnheiten, welche man durch schwarze Striche auf weissem Grunde, bei den erwähnten Massstäben darstellen kann, sondern das was schwächere Unterschiede der Farbe wiedergeben können, das gewünschte anschauliche Bild des unmittelbar Sichtbaren.

Nach dieser Bemerkung über die Kraft des bewaffneten Auges, wollen wir den Mond, der uns,

wegen seiner vergleichungsweise mit den übrigen Himmelskörpern sehr geringen Entfernung, die genaueste Kenntniss seiner Oberfläche verheisst, näher betrachten. Selbst mit einem mässigen Fernrohre angesehen, zeigt er sich uns sehr uneben und ungleich erleuchtet. Ausgedehnte dunklere Stellen wechseln mit lebhafter glänzenden ab; die Erleuchtungsgrenze, welche die Tagseite des Mondes von der Nachtseite trennt, zeigt sich äusserst rauh, nicht scharf begrenzt wie der äussere Rand; man sieht an ihr zahlreiche helle Punkte und Linien sich beträchtlich weit in die Nachtseite erstrecken. Hieraus geht hervor, dass die Oberfläche des Mondes äusserst uneben ist: die heller erscheinenden Theile sind Gebirge, die dunkeler erscheinenden sind Thäler; die hellen Punkte und Linien an der Erleuchtungsgrenze sind die Gipfel einzelner Berge und zusammenhängender Bergketten, welche von der Sonne beschienen werden, während ihr Fuss noch in Dunkel gehüllt ist. Alles dieses ist keinem Zweifel unterworfen, denn man erkennt die helleren Theile als Gebirge durch den Schatten, den sie in die Thäler werfen, und der immer dann sehr sichtbar ist, wenn die Richtung, von welcher wir den Mond sehen, von der, von welcher er erleuchtet wird, verschieden ist; fallen beide Richtungen zusammen, so verdeckt nothwendig jeder Berg seinen eigenen Schatten, und die Verschwindung desselben, die mit dem Zusammenfallen beider Richtungen immer eintritt, wird ein eben so überzeugender Beweis der wirklichen Erhöhung der helleren Theile, als die Sichtbarkeit des Schattens

unter anderen Umständen. -- Dieser Schatten der Gebirge zeigt aber nicht nur ihr Dasein, sondern er giebt auch die Mittel an die Hand, ihre Figur zu erkennen und ihre Höhe zu bestimmen. Offenbar ist nämlich die Höhe eines Berges, bei einer gewissen Erhöhung der Sonne über der Ebene, auf welcher er steht, im Verhältnisse seiner Schattenlänge; diese Schattenlänge aber kann man durch Messung bestimmen, so wie die Erhöhung der Sonne berechnen; beide zusammen ergeben die Höhe des Berges. Man bemerkt sogar leicht, dass man die Beschaffenheit der Berge im Monde, durch ihren Schatten weit vortheilhafter erkennen kann, als durch unmittelbare Ansicht möglich sein würde; denn, wenn die Sonne, an dem Punkte des Mondes, wo der Berg liegt, niedrig steht, so ist die Länge des Schattens weit grösser als die schattende Höhe, weshalb man diese in ihrem Schatten wirklich beträchtlich vergrössert sieht. Wenn man den Schatten bei sehr verschiedenen Ständen der Sonne, bald auf der einen, bald auf der anderen Seite eines Gebirges liegend, beobachtet, so kann man daraus die wahre Figur des Gebirges mit einer Vollständigkeit folgern, welche wirklich überraschend wird, wenn man sie mit der vergleicht, welche die unmittelbare Ansicht gewähren könnte. — Es würde wirklich nur mühsam, nicht schwer sein, viele Gebirge des Mondes, durch fortgesetzte Beobachtungen ihrer Schatten, genauer kennen zu lernen, als wir das Himlaya-Gebirge kennen; — allein — die Astronomen haben, im Allgemeinen, keinen Reiz darin gefunden,

Karten und Basreliefs vom Monde zu entwerfen; — wer Neigung dazu hat, kann zu den vorhandenen Arbeiten dieser Art eine reichliche Nachlese liefern. Um jedoch nicht undankbar zu erscheinen, gegen die fleissigen Leute, welche die Oberfläche des Mondes zum Gegenstande ihrer Arbeiten gemacht haben, und um zugleich ein Werk zu nennen, welches, wenn es sein Ende erlebt, ein vollendetes sein wird, muss ich Lohrmanns Karten erwähnen, welche die Oberfläche des Mondes darstellen, nicht etwa wie sie bei einer gewissen Erleuchtung erscheint, sondern wie sie, dem Zeugnisse vielfältiger Schattenbeobachtungen zufolge, wirklich ist. Bis jetzt sind 6 Blätter davon erschienen. Frühere Zeichnungen der Mondsgegenden, vorzüglich von Schroeter, geben das was sich zu gewissen Zeiten unmittelbar darstellte, verhalten sich also zu Lohrmanns Karten, wie unverarbeitete Beobachtungen, zu daraus gezogenen Resultaten.

Im Allgemeinen sind die Gebirge des Mondes höher als die der Erde; Schroeter hat einige von 4000 Toisen gemessen. Sie haben mit den Gebirgen der Erde gemein, dass sie meistentheils weit ausgedehnte Gegenden bedecken, wie unsere Schweizer und Tyroler Alpen und wie das Himlaya-Gebirge; oft bilden sie lange Cordillèren wie die Anden; oft stehen sie einsam in der Ebene, wie der Spitzberg auf Teneriffa. Allein sie haben sehr oft, und sogar am häufigsten, eine Form, welche sich unter den Erdbergen nicht, oder wenigstens nicht so auffallend

vorzufinden scheint: sie bilden nämlich ringförmige Wälle von geringerem oder grösserem, bis zu 30 oder 40 Meilen steigenden Durchmesser. Das Innere dieser, durch hohe, meistens sehr steile Gebirge umschlossenen Räume ist gewöhnlich vertieft, und Schroeter glaubte sogar sich durch Messungen überzeugt zu haben, dass die Vertiefung so viel Raum enthalte, als das sie umgebende Gebirge auszufüllen vermöge — so dass die Ringgebirge augenscheinlich aus den Vertiefungen herausgeworfen wären. Ich lasse indessen dahingestellt sein, ob Schroeter nicht dieses letztere, ohne Messungen, für wahrscheinlich gehalten, und zur Bestätigung seiner Meinung sich auf Messungen berufen hat, welche schwerlich genügend ausfallen können, — ich halte es also für eine Phantasie, aber für eine unschuldige.

Ich komme nun zu den schuldigen Phantasien über den Mond, zu denen, die gegen sichere Thatsachen verstossen. Ich habe angeführt, was man auf dem Monde wirklich sieht, muss aber noch etwas hinzufügen, was für die Beurtheilung der Beschaffenheit des Mondes sehr wesentlich ist. Dieses ist das Fehlen einer Atmosphäre des Mondes! — Viele streiten dafür mit derjenigen Heftigkeit, welche sich immer einfindet, wenn etwas geglaubt werden soll, was man sich selbst und Anderen nicht beweisen kann; ich muss daher wohl näher auseinandersetzen, was für und wider die Atmosphäre gesagt werden kann. Obenan steht eine entschiedene und wichtige Erfahrung, nämlich die, dass der Mond, wenn er vor Fixsternen vor-

übergeht und sie also für einige Zeit verdeckt, genau so lange vor ihnen verweilt, als sein Durchmesser erfordert; es wird dadurch unmittelbar bewiesen, dass der Weg, auf welchem das Licht der Fixsterne zu unserem Auge gelangt, gradlinigt bleibt, wie immer so auch zu der Zeit, wo er hart am Mondkörper vorbeiführt. Dieses könnte nicht sein, wenn dieser Weg durch eine Mondatmosphäre gehen müsste, denn in dieser müsste sich eine Strahlenbrechung erzeugen, welche zur Folge haben würde, dass der Stern später hinter dem Mondkörper verschwinde und früher wieder hervorträte, als beides der Grösse des Mondes nach berechnet werden kann. Man kann also mit Gewissheit behaupten, dass der Strahl, welcher von dem Stern zu unserem Auge gelangt, selbst in dem Augenblicke, in welchem er scharf an dem Mondrande vorbeigeht, nicht soviel von seinem geraden Wege abgelenkt wird, dass es durch unsere schärfsten Beobachtungen bemerkbar würde. Man kann ferner behaupten, dass eine Ablenkung durch diese Beobachtungen bemerkt sein würde, wenn sie zwei Secunden betrüge, oder wenn die Brechung in der Atmosphäre des Mondes auf eine Secunde stiege, welche wir, indem sie sowohl für den in die Atmosphäre gelangenden, als aus ihr herausgehenden Strahl stattfinden müsste, verdoppelt, also zwei Secunden gross, sehen müssten. Auf der Erde beträgt die Brechung, welche ein in horizontaler Richtung zum Auge gelangender Strahl erfährt, nicht etwa einzelne Secunden, sondern die sehr bedeutende Grösse von 36 Minuten, oder 2160 Secunden:

wir wissen also, dass dieselbe horizontale Strahlenbrechung auf dem Monde kleiner ist als der 2160ste Theil der auf der Erde stattfindenden, und können daraus folgern, dass, wenn Luft, deren Brechungskraft der Brechungskraft unserer Luft gleich wäre, den Mond umgäbe, ihre Dichte da wo sie die Oberfläche des Mondes berührt, weniger als der 1100ste Theil der Dichte unserer Luft betragen würde, welche geringe Dichte einen Barometerstand von nicht $\frac{1}{3}$ Linie geben würde, den wir durch unsere besten Luftpumpen kaum hervorbringen können. — Dieses wäre die äusserste Grenze; die wirkliche ist vermuthlich noch weit enger, wenn dem Monde die Luft nicht gänzlich fehlt. Man hätte glauben sollen, dass Jeder sich hierbei beruhigen und den Mond als in einem Hauptpunkte von der Erde verschieden annehmen würde: dieses ist aber nicht der Fall gewesen; man hat, um die Atmosphäre des Mondes zu retten, zu den abentheuerlichsten Ideen seine Zuflucht genommen, aber unterlassen, ihre Festigkeit durch Rechnung zu prüfen. Man hat zwar nicht geläugnet, was sich durchaus nicht läugnen lässt, aber man hat gesagt, der Mondrand sei durchaus mit hohen Gebirgen eingefasst, hinter deren, nur von verdünnter Luft umgebenen Gipfeln die Sterne verschwinden; diese Verdünnung finde aber in den Thälern nicht statt, und hier sei die Atmosphäre so dicht, dass man sich darin ganz behaglich fühlen könne. Statt so zu raisonniren, hätte man rechnen sollen. Ich will dieses thun, und dabei sowohl die angenommenen Randgebirge, obgleich sie an vielen Punkten des Randes nicht

vorhanden sind, als auch eine Höhe derselben, welche selbst die kühnsten Forderungen der Advocaten der Atmosphäre überschreiten wird, nämlich eine Höhe von 4000 Toisen zugeben. Das Gesetz, dass die Dichtigkeit der Luft sich verhält, wie das sie zusammendrückende Gewicht, giebt nun, wenn man die Temperatur an der Spitze der Randberge auch eben so gross annimmt, als an dem Fusse derselben, welches für die Vertheidiger der Atmosphäre das Vortheilhafteste ist, die Dichte der Luft in der Tiefe nicht einmal dreimal so gross, als in der Höhe von 4000 Toisen; also den Barometerstand an der wahren Oberfläche des Mondes noch nicht eine Pariser Linie hoch; also den Raum so leer von Luft, dass schon eine sehr vollkommene Luftpumpe erforderlich ist, ihn so weit auszuleeren. Wollte man eine merklich dichtere Luft auf der Oberfläche des Mondes aus der Rechnung herausbringen, so würde man entweder eine Kälte auf dem Monde, gegen welche die Kälte unserer Pole gewaltige Hitze sein würde, oder eine specifisch so schwere Luft annehmen müssen, dass die schwersten Gasarten, welche unsere Chemiker entdeckt haben, noch keinen Begriff davon geben. — Diese Rechnung haben Die, die lieber von der Mondsatmosphäre phantasiren, als ihr Dasein prüfen wollten, nicht anzustellen für gut gefunden; sie sind aber der Frage, warum der Mond durchaus eine Atmosphäre haben soll, durch die Anführung zweier Gründe zuvorgekommen. Der erste ist der Anfang eines Schlusses, dem aber das Ende fehlt: weil die Erde eine Atmosphäre hat, so — es

folgt wirklich nichts. Der andere ist stärker; sie wollen Flächen auf dem Monde, an der Grenze wo Tag in Nacht übergeht, in dämmerungsartiges Licht gehüllt gesehen haben. Wenn es damit seine Richtigkeit hätte, so würde man wirklich die Atmosphäre nicht läugnen können, sogar eine strahlenbrechende Atmosphäre nicht, wenn auch ihr Nichtvorhandensein an den Gipfeln der angenommenen Randberge erwiesen ist. Allein die Behauptung hat nicht ihre Richtigkeit: das, was sie für Dämmerungslicht ausgeben, ist nichts anderes als Licht von einem kleinen Theile der Sonnenscheibe, welches die Fläche, auf die es fiel, weit schwächer erleuchtete, als wenn sie durch die ganze Scheibe, deren grösserer Theil beim Auf- oder Untergehen durch benachbarte Erhöhungen verdeckt wurde, erleuchtet worden wäre. — Um nichts zu verschweigen, was für eine Atmosphäre des Mondes angeführt worden ist, muss ich noch einer allerdings beachtenswerthen Erscheinung gedenken, die aber, richtig angesehen, gar nicht hierher gehört. Mehrere Beobachter haben nämlich bemerkt, dass ein Stern, auf welchen der helle Rand des Mondes zurückt, nicht in dem Augenblicke verschwindet, wenn der Mondrand ihn zu berühren scheint, sondern erst einige Secunden später, so dass man ihn, während dieser Zeit, durch den Körper des Mondes hindurch zu sehen glaubt. Einige Astronomen haben dieses wirklich bemerkt, andere haben, trotz aller Aufmerksamkeit darauf, nichts der Art sehen können; zu diesen letzteren gehöre ich selbst, bin aber keinesweges der Meinung, dass die

Anderen sich geirrt haben. Die Erscheinung hat vielmehr ihren Grund in den Fernröhren, welche oft durch Diffraction der Strahlen an dem Rande des Objectivglases, alle leuchtende Gegenstände auf dunkelem Grunde etwas grösser erscheinen lassen, als sie wirklich sind, und aus diesem Grunde auch den Fixsternen sichtbare Durchmesser beilegen, welche sie in der Wirklichkeit ganz gewiss nicht besitzen. Diese falsche Vergrösserung aller hellen Gegenstände findet auch bei dem Mondrande statt, kann aber begreiflich auf den Augenblick des Verschwindens eines Sterns hinter dem Monde, keinen Einfluss erlangen, sondern muss zur Folge haben, dass der Stern so lange innerhalb des sichtbaren Randes des Mondes erscheint, bis er den wahren Rand berührt, worauf er denn augenblicklich verschwindet. — Dass einige Beobachter diese Erscheinung gesehen haben, andere nicht, liegt an der Verschiedenheit der Fernröhre, welche sie angewandt haben; die meinigen müssen von der falschen Vergrösserung freier oder ganz frei sein, welches für das grosse Heliometer der hiesigen Sternwarte auch aus einer directen Prüfung hervorgegangen ist. Auf keinen Fall (selbst wenn man die eben gegebene Erklärung der Erscheinung bezweifeln wollte) würde man an eine Biegung des Strahls vom Sterne, durch eine Mondsatmosphäre, denken dürfen; denn diese würde immer zur Folge haben, dass der gekrümmte Strahl seine Höhlung dem Monde zukehrt, woraus unmittelbar hervorgeht, dass der Stern nie innerhalb des Mondrandes erscheinen kann. — Ich fühle sehr wohl, dass,

indem ich die grösstentheils thörigten, für das Dasein einer Atmosphäre des Mondes angeführten Gründe aufzähle, ich Ihnen einen sehr nachtheiligen Begriff von astronomischer Critik gebe; ich muss aber bemerken, dass der Gegenstand nicht zur eigentlichen Astronomie gehört, obgleich die Bemühungen um die Erforschung der physischen Beschaffenheiten der Himmelskörper, häufig physische Astronomie genannt werden; eine Benennung, die man desto eifriger zurückweisen muss, weil sie dem höchsten Zweige der Wissenschaft, der mathematischen Verfolgung des Gesetzes der Anziehungskräfte, zukömmt; also den höchsten Zweig mit einem gar nicht zum Stamme gehörigen, einem wahren Ausläufer, verwechselt.

Warum aber hat man, allen vernünftigen Gründen zum Trotze, das Dasein einer Monds-Atmosphäre behaupten wollen? — Sie ist wirklich so gleichgültig nicht, denn mit ihr zugleich fallen viele schöne Träume von der Bewohnbarkeit des Mondes und den Verhältnissen der dortigen Menschen; ich sage Menschen, denn ungeachtet aller Protestationen der fühlenden Herzen, die auch im Monde Mitgefühl haben wollten, dachten sie sich doch ihre Mondbewohner den Erdbewohnern im Wesentlichen so ähnlich wie ein Ei dem anderen. Der Mond hat keine Luft; also auch kein Wasser, weil es, wenigstens im flüssigen Zustande, ohne den Druck der Luft verdunsten würde; also auch kein Feuer, weil es ohne Luft nicht brennen kann. Ich überlasse Jedem, sich die Verhältnisse auf dem Monde ohne Luft, auf dem starren Monde, auf

dem Monde ohne Feuer, der aber 14 Tage lange Nächte hat, auszumahlen. Nicht unser unsichtbarstes Infusionsthierchen kann dort leben. Welchen Begriff von einem Leben, welches kein irdisches Leben ist, haben wir? — Geister brauchen weder den Mond noch die Erde; Körper, die auf dem Monde leben können, mag ein Anderer näher erklären. Wer dennoch weiter phantasiren will, muss auf die Unterstützung der Astronomen Verzicht leisten. Aergerlich aber ist es für diese, wenn sie solche Phantasien, und zwar von Halbbrüdern, die selbst durch ein Fernrohr gesehen haben, sogar bis zu ihnen sichtbar gewordenen Spuren von Industrie der Mondsbewohner getrieben finden.

Doch noch etwas Wahres vom Monde! — Er zeigt uns eine sehr merkwürdige Eigenschaft, nämlich die, dass er sich genau in derselben Zeit um seine Axe drehet, in welcher er um die Erde läuft. Die Erde drehet sich 365 Mal um ihre Axe, während sie einmal um die Sonne läuft; bei dem Monde sind beide Bewegungen so vollkommen gleich, dass er, von den ältesten Zeiten bis jetzt, die Erde immer mit derselben Seite angesehen hat, so dass wir von der von der Erde abgewandten wirklich nichts wissen. Die mathematische Analyse hat ein Uebriges gethan, indem sie sogar bewiesen hat, dass diese Gleichheit, wenn sie einmal näherungsweise stattfindet, sich in aller mathematischen Strenge einfinden und fortwährend erhalten müsse. Diese merkwürdige Eigenschaft ist eine von denen, die Blicke in den ursprünglichen Zustand der Dinge gewähren; sie konnte sich später nicht erzeugen,

wenn sie nicht ursprünglich vorhanden war. Der anfängliche Zustand muss also entweder die Bedingung enthalten haben, dass der aus ihm hervorgehende Mond in gleicher Zeit um die Erde laufe und sich um seine Axe drehe, oder es muss ein zufälliges Zusammentreffen verschiedener Ursachen angenommen werden. Dieses letztere können wir aber zurückweisen, indem wir an dem äussersten der Saturns-Monde bemerken, dass er immer in einem gleichen Punkte seiner Bahn, selbst für unsere stärkeren Fernröhre verschwindet, während er an anderen Punkten derselben Licht genug zu uns sendet. Dieses beweiset unmittelbar, dass dieser Mond von einer Seite sehr wenig Licht reflectirt, und dass diese Seite, nach einem vollendeten Umlaufe des Mondes um den Saturn, stets nach derselben Richtung gewandt ist. Dieselbe Erscheinung, welche unser Mond uns darbietet, findet sich also bei dem äussersten Saturns-Monde wieder; geringere Lichtwechsel, welche man an anderen Monden des Saturns und an denen des Jupiters bemerkt hat, deuten auf die Allgemeinheit dieses Verhältnisses bei allen Monden, welche dann eine Eigenschaft besitzen, die ihnen einen wesentlichen Unterschied von ihren Hauptplaneten giebt, deren Umlaufs- und Umdrehungs-Bewegungen gänzlich unabhängig voneinander sind.

Wir müssen nun zu der Quelle des Lichtes, zu der Sonne übergehen. Licht genug giebt sie, aber gerade dieses Licht verhindert uns, zu erfahren, wie sie beschaffen ist. Denn es kömmt nicht von ihr selbst, sondern von einer Hülle, die ihren Körper umgiebt,

und deren sich hin und wieder ereignendes Zerreissen uns nur zuweilen einen Blick in das Dunkel darunter verstattet. Der Abstich von dem allerhellsten Lichte zu diesem Dunkel ist zu gross, als dass man auf der Sonne selbst etwas sehen könnte. Die Trennungen der Lichthülle, die sogenannten Sonnenflecken, sind übrigens meistens von kurzer Dauer und unbeständiger Form: bald flutet das Lichtmeer wieder über ihnen zusammen, so wie es überhaupt grosse und heftige Bewegungen zeigt, welche heute seine Oberfläche gleichmässig hell, morgen vielleicht schon mit unzähligen grauen Punkten besäet erscheinen lassen. Von Aehnlichkeiten zwischen der Sonne und der Erde kann vernünftigerweise nicht die Rede sein; sehen können wir auch nichts von der Sonne; phantasiren kann ich noch weniger darüber. Ich muss sie also mit der Bemerkung verlassen, dass sie der allertraurigste Aufenthaltsort für einen Astronomen sein würde, der durch das Lichtmeer hindurch, von dem ganzen Planetensysteme und von den Fixsternen, keine Spur sehen würde.

Ich muss hier eine Unterbrechung machen, um der anwesenden, hochgeehrten Versammlung zu erklären, dass ich nicht gedenke, sie durch eine Aufzählung alles dessen, was ich von den einzelnen Planeten unseres Systems gesehen und gelesen habe, zu unterhalten. Gelesen? — Ja, ich habe in Büchern vieles gefunden, was ich am Himmel nicht habe finden können, obgleich gesunde Augen, tüchtige Fernröhre, und auch wohl der Wunsch, alles am Himmel kennen

zu lernen, es mogte in die eigentliche Astronomie, d. h. in die Lehre von der Bewegung der Himmelskörper gehören, oder eine äussere Eigenschaft derselben betreffen, mir eben so viele Ansprüche auf das Sehen gegeben haben, als Anderen. — Ich will durch diese Bemerkung nicht sagen, dass die Beobachter, welche etwas gesehen haben wollen, was Andere nicht sehen können, sich absichtlich von der Wahrheit entfernt haben; indem ich aber dennoch nicht läugne, dass sie zu weit gegangen sind, muss ich mich näher darüber erklären. Die Beobachter, von welchen ich rede, fassten eine Seite der Himmelskenntniss auf, welche für die Astronomie selbst unfruchtbar ist, deren Interesse daher nur ausser der Wissenschaft liegen konnte. Wenn ich sehe, was sie darüber gesagt haben, so dringt sich mir die Meinung auf, dass sie keinesweges die Beschaffenheiten der Himmelskörper haben erforschen, sondern vielmehr Aehnlichkeiten zwischen ihnen und der Erde haben aufsuchen wollen; Herschel nehme ich aus, seine Uebersicht über das Weltall war zu grossartig, um ihn zum Herbeiziehen eines fremden Interesses veranlassen zu können. Hätten die Anderen nur kennen lernen wollen, was man auf den weit entfernten Himmelskörpern erkennen kann, so wären ihre Untersuchungen eher zu Ende gegangen, als sie eine einzige Aehnlichkeit aufgefunden hätten. Ich erinnere hier an den oben mitgetheilten Ueberschlag, nach welchem eine Länge von einer Viertelmeile auf dem Monde, und von 100 Meilen auf der Sonne, uns als Punkte erscheinen; an dieser trockenen Bemerkung

hätten sie Halt machen sollen, allein hier erst fingen sie an, die Flügel ihrer Phantasie zu entfalten, und jede Aehnlichkeit, die nicht geradezu durch den unmittelbaren Anblick widerlegt wurde, als eine durch diesen bestätigte Wahrscheinlichkeit anzusehen: sie hatten sich unbedachtsam nach einem Ziele auf den Weg gemacht, welches entweder gar nicht vorhanden ist, oder nicht erreicht werden kann; da sie nicht geneigt waren, zeitig umzukehren, so mussten sie vorwärts. — Die Moral hiervon ist, dass selbst ein Ehrenmann wohl thut, sich zu hüten, keinem anderen Ziele zuzustreben, als einem durch Beobachtungen oder reines Raisonnement erreichbaren.

Wir lesen von dunkelen Streifen auf dem Mercur, aus welchen man die Schnelligkeit der Winde auf diesem Planeten abgeleitet hat. Wir lesen von sichtbaren Dunstkreisen, welche die neuen Planeten umgeben und sie zu Mitteldingen zwischen soliden Planeten und luftigen Kometen machen. Von dem einen so wenig, wie von dem anderen, habe ich je etwas gesehen, und muss daher Jedem überlassen, ob er an den Wind und den Dunst glauben will. — Schroeter hat einmal einen hellen Punkt auf dunkelem Grunde an der Lichtgrenze der Venus gesehen. Das ist eine unmittelbare Wahrnehmung, die man nicht bezweifeln darf, wenn man nicht die Wahrheit des Mannes angreifen will; aus derselben folgt, das Venus gebirgig ist; die darauf gegründete Schätzung der Höhe des Gebirges, von 10000 Toisen, will ich nicht vertreten. Ueberdies hat man einige schwach getrübte Stellen

auf der lebhaft glänzenden Oberfläche der Venus bemerkt, und aus der Ortsveränderung derselben die Zeit der Axendrehung, oder die Tageslänge auf der Venus gefolgert. Wie unbestimmt die Wahrnehmung aber gewesen sein muss, geht daraus hervor, dass man noch nicht weiss, welche von zwei Angaben der Tageslänge, 24 Tage und 24 Stunden, die richtige ist. — Venus hat noch eine Erscheinung dargeboten, welche ich hier nicht übergehen darf. Wenn sie uns sichelförmig erleuchtet erscheint, so hat sie, zwar in seltenen Fällen, jedoch dem Zeugnisse dreier verschiedenen Beobachter gemäss, ihre von der Sonne nicht erleuchtete Seite, in sehr schwachem Lichte schimmern gezeigt, ähnlich mit dem Anblicke, welchen der sichelförmig erleuchtete Mond uns darbietet. Für den Mond liegt die Erklärung des schwachen Lichtes der von der Sonne abgewandten Seite am Tage: es ist der Erdschein, den wir sehen. Venus hat aber keinen Mond, der ihre Nachtseite erleuchten könnte: diese giebt also, zu gewissen Zeiten, eigenes Licht von sich. Ist dieses Licht etwa unseren Nordlichtern ähnlich? — oder dem sehr hellen Glanze, den wir auch in unseren Nächten zuweilen sehen, ohne angeben zu können, woher er entsteht? — etwas Aehnliches muss es wohl sein. — Dass man, ausser dem Angeführten, von dem Mercur und von der Venus, d. h. von den Oberflächen, nicht von der Bewegung derselben, etwas Wesentliches beobachtet hätte, ist mir nicht bekannt. Ob sie der Erde, ausser in ihrer runden Figur, die übrigens

aus Gründen der Mechanik nothwendig ist, ähnlich sein mögen? — wir wissen es nicht.

Der Mars zeigt uns aber Erscheinungen, welche an die Erde erinnern. Sein rothes Licht deutet auf eine Atmosphäre, die sich auch durch dunkele Flecke auf seiner Scheibe verräth, welche zum Theil zwar dem Körper des Planeten selbst angehören mögen, zum Theil aber veränderlich sind und daher wohl ausgedehnten Wolken-Lagern zugeschrieben werden müssen. Was aber am meisten an die Erde erinnert, sind helle Flecken an den Polen des Mars, die unseren, von Schnee bedeckten Polargegenden entsprechen können, und selbst das mit diesen gemein haben, dass sie am meisten glänzen, wenn sie aus der Polarnacht hervortreten, dagegen unscheinbarer werden, wenn sie ein halbes Marsjahr lang den Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen sind. — Es ist Niemanden zu verargen, wenn er hierbei an Eis und Schnee auf dem Mars denkt, und auch in der nahen Gleichheit der Tageslängen des Mars und der Erde, so wie in einer, für beide ähnlichen Abwechselung der Jahreszeiten, Andeutungen von Aehnlichkeiten sieht. Wie weit diese aber gehen mögen, können wir nicht erfahren.

An den nun folgenden neuen Planeten Ceres, Pallas, Juno und Vesta können wir nichts bemerken, ausser dass sie vorhanden sind; sie sind in den besten Fernröhren nicht von kleinen Fixsternen zu unterscheiden. — Am Jupiter, auf welchem, der früheren Bemerkung gemäss, ganz Europa nur als ein Punkt sichtbar werden würde, können wir begreiflich nichts

Einzelnes erkennen. Seinen, ihn umgebenden breiten Gürteln wissen wir keine Bedeutung abzugewinnen, welche auf der Erde ihr Aehnliches fände. Mit dem Saturn sind wir noch übeler daran, da er nocheinmal so entfernt ist als sein Vorgänger; Uranus ist wieder nocheinmal so weit entfernt.

Aus dem was ich bemerkt habe, geht klar genug hervor, dass nicht leicht ein undankbareres Geschäft denkbar ist, als das Beschauen der Planeten mit Fernröhren. So unkräftig sich diese hier aber erweisen, eben so schätzbar sind die Kenntnisse der physischen Natur der Planeten, welche wir, auf einem ganz verschiedenen Wege erwerben können. Ich darf, in einer, diesem Gegenstande gewidmeten Vorlesung, also nicht davon schweigen.

Der Weg, den ich meine, ist derselbe, der uns auch früher über die Figur und die innere Beschaffenheit der Erde Aufklärungen gegeben hat; es ist der von einer beobachteten Wirkung zu ihrer Ursache zurückführende; derselbe, der den Astronomen den Zugang zu unzugänglich erscheinenden Kenntnissen oft eröffnet hat. Wer die Natur des Schlusses von einer, sich im Weltgebäude offenbarenden Erscheinung, auf die Ursache derselben, nicht kennte, würde die Behauptung ohne Zweifel auffallend finden, dass man über das Innere der Planeten sichere Kenntnisse erlangen könne, während die Beschaffenheit des Aeusseren uns unbekannt bleibt; nach der Erkenntniss dieser reichen Quelle von Entdeckungen aber, fällt alles Auffallende weg, und man darf wirklich in die Natur des

erwähnten Schlusses nicht tief eindringen, um klar vor Augen zu haben, wie er uns gegenwärtig zu dem zu erreichenden Ziele führen wird. — Ich werde zuerst nur von dem Jupiter reden, mir aber vorbehalten, das sich auf ihn beziehende, weiter anzuwenden.

Der Planet Jupiter hat bekanntlich 4 Monde, deren Umlaufszeiten um ihren Hauptplaneten man unmittelbar beobachten, und deren Entfernungen von demselben man messen kann. Man erlangt dadurch die vollständige Kenntniss der Bahnen dieser Monde, weiss also die Krümmungen derselben, so wie auch die Geschwindigkeiten, mit welchen die Monde sich in ihnen bewegen. Hieraus geht zunächst die Anziehungskraft hervor, welche der Hauptplanet anwendet, die Monde in ihren Bahnen zu erhalten, welche sie, ohne diese Kraft, augenblicklich verlassen würden; sobald diese Kraft für einen der Monde gefunden ist, erhält man durch das Newton'sche Gesetz, nach welchem die Kraft, in verschiedenen Entfernungen, sich umgekehrt wie das Quadrat dieser Entfernungen verhält, ihre Stärke in jeder beliebigen Entfernung von dem Mittelpunkte des Planeten; man kann also auch bestimmen, wie gross die Anziehungskraft des Jupiters in der Entfernung sein würde, in welcher unser Mond sich von der Erde befindet. Genau so kann man die Kraft, mit welcher die Erde unsern Mond anzieht, bestimmen, und also erkennen, wie beide sich zueinander verhalten. — Verfolgt man diesen Weg, durch Rechnung, bis zu diesem Resultate, so erkennt man, dass Jupiter mit ungleich grösserer Kraft anzieht als die Erde;

man findet, dass seine Wirkung 336 Mal so gross ist. Allein die Anziehungskraft ist der körperlichen Masse eigenthümlich und verhält sich wie das Gewicht derselben. Man folgert also aus der gemachten Rechnung, dass Jupiter 336 Mal so viel wiegt als die Erde. — Wenn man dieses Resultat besitzt, kann man leicht beurtheilen, ob Jupiter aus eben so dichter Masse besteht als die Erde; denn man kennt den inneren Raum sowohl des Erdkörpers, als des Jupiterskörpers, durch die gemachten Messungen beider; wäre der letztere 336 Mal so gross als der erstere, so wäre die Masse beider offenbar gleich dicht; er ist aber nahe 1500 Mal so gross, woraus also folgt, dass das Innere des Jupiters mit einer Materie gefüllt ist, die nicht ¼ der Dichte der Erdmaterie besitzt. Die Materie woraus Jupiter besteht, muss also eine ganz andere sein, als die, aus welcher die Erde besteht; sie ist nicht dichter als unser Wasser.

Man kann aber noch einen Schritt weiter gehen, und sich überzeugen, dass die Dichte des Inneren des Jupiters von seiner Oberfläche nach seinem Mittelpunkte zu zunimmt, so dass sie an der Oberfläche also noch weniger dicht sein muss, wie unser Wasser. Ich muss hier an den Inhalt meiner letzten Vorlesung erinnern: dort wurde gezeigt, wie daraus, dass die Abplattung der Erde kleiner ist, als sie sein würde, wenn sie eine gleichförmige Dichte besässe, folgt, dass ihre Dichte nach dem Mittelpunkte zu wächst; ähnlich ist das Raisonnement hier, denn die Abplattung des Jupiters, welche den directen Messungen zufolge $\frac{1}{14}$

beträgt, ist auch kleiner als sie in der Voraussetzung seiner Gleichförmigkeit sein würde.

Was ich hier von dem Jupiter angedeutet habe, findet noch auffallender bei dem Saturn statt; seine Materie ist noch weit weniger dicht wie die des Jupiters, nicht halb so dicht wie Wasser, also weniger dicht als Tannenholz und als die leichteste unserer Flüssigkeiten, als der Vitriolaether. — Die der Sonne näheren Planeten sind sämmtlich ihren Dichtigkeiten nach verschieden, jedoch nicht so sehr als Jupiter und Saturn.

Um meiner Vorlesung ein Ende zu geben, fasse ich das kurz zusammen, was sie in Beziehung auf die Aehnlichkeit der Erde mit anderen Körpern unseres Sonnensystems enthält. Der Mond ist der Erde in dem Hauptpunkte, der Atmosphäre, entschieden unähnlich; die Sonne ist ganz anderer Natur; bei Mercur und Venus haben wir keinen Grund eine Aehnlichkeit anzunehmen, gefunden; Mars scheint eine Atmosphäre und Sommer und Winter, sogar Schnee und Eis zu besitzen; die neuen Planeten sind Körperchen ohne Eigenschaften für uns: Jupiter und Saturn sind der Erde sehr unähnlich, durch die Materie woraus sie bestehen; Uranus, am letzten Ende der Welt, ist in einer so von der unsrigen verschiedenen Region, dass wir, auch wenn wir die unermessliche Entfernung bis zu ihm, mit unseren Fernröhren besser durchdringen könnten, nicht viele Aussicht haben würden, ein Ebenbild der Erde in ihm zu entdecken. —

Ich hoffe, meine Materie rein astronomisch abgehandelt zu haben. Die Frage, ob die Weltkörper aus-

schliesslich zu Wohnplätzen lebender Geschöpfe bestimmt sind, hat mir dabei nicht vorkommen können. Die Oberfläche der Erde ist es gewiss, denn hier ist Leben überall; der bei weitem grössere Theil der Erde, das Innere derselben, scheint nicht diese Bestimmung zu haben, wenigstens haben wir weder Thatsachen, noch Wahrscheinlichkeiten dafür anzuführen. — Der Körper, nach welchem allein unsere Sehkraft einigermassen hinreicht, der Mond, ist wenigstens für ein Leben, wie wir es uns denken können, nicht geeignet, und zwingt uns schon, falls wir das Leben auf der Oberfläche der Himmelskörper zur Bedingung machen wollen, uns in das Undeutliche zu verlieren. — Wir müssen auch hier, wie überall, eine Grenze unserer Erkenntniss anerkennen und uns bescheiden, dass wir Thatsächliches in der Natur nur dann wissen können, wenn es entweder im Bereiche der Sinne, oder durch Schlüsse mit dem Zeugnisse der Sinne verbunden ist; der fruchtlose Versuch, diese Grenze zu überspringen, ist es, der Phantasien selbst in eine Wissenschaft eingeschwärzt hat, welche so reich an erreichbaren Erscheinungen ist, dass das Bestreben, unerreichbare herbeizuziehen, nur von Solchen ausgegangen sein kann, die sich den Weg zu jenen nicht zu eröffnen wussten. So ist es in der That! — ich könnte dieses von jedem Einzelnen nachweisen! — die Billigkeit aber fordert, dass man der Astronomie nicht zur Last lege, was gegen ihre Gesetze geschehen ist.

Ueber den Halley'schen Kometen.

Indem ich die Erlaubniss benutze, der versammelten Gesellschaft von dem Weltgebäude etwas berichten zu dürfen, wähle ich den Halley'schen Kometen zum Gegenstande. Wir erwarten ihn mit derselben Ungeduld, mit welcher ein Angehöriger erwartet wird, der von einer langen Reise wissenswürdige Nachrichten mitbringen soll. Auch der Halley'sche Komet ist unser Angehöriger; er ist seit 75 Jahren abwesend, und nicht eitel ist die Neugierde, womit wir ihm entgegensehen. Wir sind im Begriff, Fragen an ihn zu richten, deren Beantwortung wir auf das Angelegentlichste wünschen. Er soll uns sagen, ob er der sorgfältigen Rechnung, wodurch wir ihn von Punkt zu Punkt seines langen Weges begleitet haben, genau hat folgen können, oder ob er Hindernisse gefunden hat, welche ihn zu Abweichungen von unserer Rechnung veranlasst haben; er soll uns ferner sagen, ob er unverändert und ungealtert zu uns zurückgekehrt ist, oder ob die Reise ihn eines Theils seiner Lebenskraft beraubt hat; wir wollen endlich versuchen,

ob er geneigt ist, uns etwas von seiner innern Natur zu verrathen. Ich werde mich gewiss in Acht nehmen, eine Meinung über die Antworten, welche der Komet auf diese Fragen ertheilen wird, vorauszusagen; aber ich werde unsere Berechtigung zu den Fragen, und die Fragen selbst näher zu erläutern suchen, damit deutlicher vor unsere Augen trete, von welcher Art die darauf zu erwartenden Antworten seyn können.

Die einflussreichste Frage ist ohne Zweifel die erste, die Bewegung betreffende. Ich darf mich, indem ich darauf ausgehe, sie einigermassen befriedigend zu erläutern, nicht scheuen, etwas weit zurück zu gehen, um die Verbindung zu zeigen, in welcher sie mit zusammengehörigen nach und nach erlangten Kenntnissen steht. Die Kometen haben in allen Zeiten die Aufmerksamkeit der Welt auf sich gezogen, die Aufmerksamkeit der Astronomen leider weit später. Die Welt zweifelt nicht, die Bedeutung einer am Himmel ausgesteckten Ruthe deutlich zu erkennen; es war nichts natürlicher, als in ihr eine Zauberruthe zu sehen, eine Geissel, welche z. B. die Türken antrieb, über die Christen herzufallen. Die Astronomen dagegen konnten an den Kometen nichts finden, welches ihnen die Natur ordentlicher Himmelskörper zugesprochen hätte. Sie kamen und gingen — und so wie ihr Ansehen mit dem Ansehen der Planeten keine Aehnlichkeit hatte, so schien auch ihre Bewegung mit den Bewegungen der Planeten keine zu haben. Es ging aber mit den Kometen, wie es noch heut zu Tage mit manchen Dingen gehen mag: man

hielt sich von etwas überzeugt, was nicht ist, und sah dagegen nicht, was ist.

Wir haben aus allen Zeiten, aus welchen geschichtliche Nachrichten zu uns gelangt sind, auch Nachrichten von erschienenen Kometen; aber sie sind so wenig astronomisch genügend, dass man oft nicht einmal daraus sehen kann, ob wirklich von einem Kometen, oder von einem Nordlichte, oder von einem vorüberziehenden Meteore die Rede ist. An ordentliche Angabe der Punkte der Himmelskugel, durch welche ein erschienener Komet seinen Weg nahm, ist bei so bewandten Umständen gar nicht zu denken. Man kann also aus mehreren Hundert Kometenerscheinungen, von welchen die Chronisten reden, keinen Nutzen ziehen. Allein das Jahr 1472 brachte einen Kometen, und zugleich einem braven Astronomen den Entschluss, ihn nach den Regeln der damaligen astronomischen Kunst zu beobachten. Der Mann hiess Müller und stammte aus einem Dorfe, Königsbergen in Thüringen, wesshalb er dem Gebrauch der Zeit gemäss sich Regiomontanus nannte. Unter diesem Namen ist er unsterblich geworden, weil dieser Name die Reihe der Kometen-Beobachtungen eröffnet. Nachdem sie eröffnet war, fehlte es nicht an Fortsetzungen des Anfanges, und zu Newton's Zeit lagen bereits genügende Nachrichten von mehr als 20 Kometen zur Verarbeitung vor.

Diese Beobachtungen waren die nothwendigen Vorarbeiten, welche der vollständigen Erkenntniss der Natur der Kometen vorangehen mussten. Newton,

der vom Himmel die Gabe erhalten hatte, Licht zu verbreiten, wohin er seine Blicke richtete, zerstreute auch das Dunkel, welches bis dahin auf den Kometen gelegen hatte. Aber um zu zeigen, was er von den Kometen lehrte, muss ich wieder ein Jahrhundert, und zwar zu Kepler zurückgehen.

Kepler hatte die wahre Bewegungsart der Erde und der Planeten, von welcher Copernicus schon gezeigt hatte, dass sie um die Sonne vor sich geht, aus Tychos von Brahe Beobachtungen gründlich untersucht und gewisse Regeln gefunden, welche alle Planeten beobachten und welche man die Keplerschen Gesetze nennt. Ich muss mir, weil die Uebersicht über das Folgende davon abhängt, erlauben, einige Worte zur nähern Erklärung dieser Keplerschen Gesetze zu sagen. Das erste derselben fordert, dass alle Planeten in krummen Linien von einer und derselben Art, die man Ellipsen nennt, um die Sonne laufen. Es ist sehr leicht, sich von dieser Art der krummen Linien eine anschauliche Vorstellung zu machen. Legt oder zeichnet man nämlich einen Kreis auf den Fussboden, und bringt man das Auge in einen Punkt der Linie, welche von seinem Mittelpunkte gerade aufwärts geht, so erscheint der Kreis offenbar völlig rund, d. h. er erscheint als das, was er ist, als Kreis; bringt man aber das Auge aus dieser Linie heraus, so verkürzen sich offenbar die Dimensionen der Figer in der Richtung, in welcher das Auge steht, und der Kreis erscheint nicht mehr rund, sondern als eine krumme Linie, welche zwei ungleiche Durch-

messer hat, einen längsten und senkrecht darauf einen kürzesten. Bewegt man das Auge so, dass es bei immer gleichbleibender Entfernung von dem Mittelpunkte eine immer geringere Höhe über dem Fussboden erhält, so wird dadurch der grössere Durchmesser nicht verändert, aber der kleinere ziehet sich immer mehr zusammen; er verschwindet gänzlich, wenn das Auge auf den Fussboden selbst gelangt ist, wo es dann von der Fläche des Kreises nichts mehr, ihn selbst also als gerade Linie sieht. Alle die Formen, in welchen solchergestalt der Kreis gesehen wird, von der völlig runden bis zur geraden Linie, sind Ellipsen. Diese Art der krummen Linien hat also das mit einander gemein, dass sie durch eine perspectivische Ansicht des Kreises dargestellt werden kann, allein ihre Figur kann alle die Verschiedenheiten darbieten, welche diese Ansichten darbieten können; d. h. sie kann jedes beliebige Verhältniss der Durchmesser haben, oder es kann sowohl Ellipsen geben, in welchen beide Durchmesser beinahe gleich sind, als auch welche, in welchen sie verschieden sind, oder auch solche, deren grösster Durchmesser 10, 100 oder 1000 Mal grösser ist, als der kleinste.

Kepler hat also gefunden, dass alle Planeten sich in dieser Art der krummen Linie um die Sonne bewegen; er hatte noch hinzugesetzt, dass die Sonne nicht etwa in einem willkürlichen Punkte im Inneren derselben, sondern in einem bestimmten Punkte steht, den man den Brennpunkt nennt, welcher immer auf dem grössten Durchmesser liegt und einem Ende des-

selben, also auch der krummen Linie selbst desto näher kommt, je grösser die Verschiedenheit der beiden Durchmesser ist. Diesem Gesetze gesellte er ein zweites hinzu, welches die Geschwindigkeit der Bewegung eines Planeten in den verschiedenen Punkten seiner Bahn bestimmt, und aus welchem folgt, dass die Bewegung am stärksten ist, wenn der Planet sich am nächsten bei der Sonne befindet, dass sie von hier an immer schwächer wird und ihre kleinste Grenze in der grössten Entfernung, in welche der Planet kommen kann, erlangt; dann aber wieder anwächst und in der Sonnennähe wieder ihren frühern Werth erlangt, mit welchem sie einen zweiten, dem vorigen durchaus gleichen Umlauf beginnt; nach der Beendigung des zweiten einen dritten u. s. w. Kurz, die Bewegung der Planeten hat keine Grenzen und leidet im Laufe der Zeiten keine Aenderung. Den Schluss macht ein drittes Gesetz, welches ein Verhältniss zwischen den Umlaufszeiten zweier Planeten, und den grössten Durchmessern ihrer Bahnen bestimmte.

Diese 3 Kepler'schen Gesetze sind erforderlich und hinreichend, wenn es darauf ankommt, den Punkt der Himmelskugel zu berechnen, wo ein Planet sich zu einer gegebenen Zeit befindet. Sie sind also vollständig. Die Art, wie Kepler zu ihrer Kenntniss gelangt war, macht seinem Scharfsinne so wie auch seinem deutschen Fleisse die grösste Ehre: er hatte, wenn ich mich so ausdrücken darf, nur Entscheidungen vor Augen, nämlich beobachtete Oerter der Planeten an der Himmelskugel; unter der Voraussetzung,

dass sie bestimmten Gesetzen entsprechen müssen, ruhete er nicht eher, als bis er diese Gesetze so vollständig aus den Entscheidungen errathen hatte, dass er alle beobachtete Zahlen eben so genau aus ihnen berechnen konnte, als sie beobachtet waren. Kepler also gebührt die Ehre einer völlig durchgeführten Forschung.

Diese fand Newton vor, als er das Weltgebäude mit einer Geisteskraft zu beurtheilen unternahm, welche in jedem Jahrtausend vielleicht nur ein mal auf der Erde erscheint. Ihm war es vorbehalten, und ihm gelang es, von den Gesetzen Kepler's zu der Ursache emporzusteigen, von welcher sie eine nothwendige Folge sind. Er fand diese Ursache in der allgemeinen Eigenschaft der Körper, sich einander anzuziehen und erklärte nun aus dieser Eigenschaft die Kepler-schen Gesetze eben so vollständig, als Kepler vorher die Erscheinungen aus den Gesetzen erklärt hatte. Jetzt war unsere Kenntniss des Weltgebäudes mit dem Schlussstein versehen; es gab keine isolirten Erscheinungen mehr; alle waren Theile eines Ganzen, des grossen Reiches nämlich, in welchem die gegenseitige Anziehung der Körper als einziges Gesetz gilt.

Ich will nicht läugnen, dass jede Gelegenheit Newton zu vergöttern mir willkommen ist, allein die Abschweifung von den Kometen, welche ich mir eben erlaubt habe, darf ich hierdurch nicht entschuldigen, denn sie steht mit den Kometen in der allernächsten Verbindung und ist daher nothwendig gewesen. Indem nämlich die Kepler'schen Gesetze eine

nothwendige Folge einer allgemeinen Eigenschaft der Himmelskörper sind, kann sich keiner derselben ihnen entziehen. Auch die Kometen müssen ihnen Folge leisten: auch sie müssen also in elliptischen Bahnen um die Sonne laufen, so dass die Sonne den Brennpunkt derselben einnimmt; die Geschwindigkeit ihrer Bewegungen in den verschiedenen Theilen ihrer Bahnen muss sich nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze richten; das Verhältniss ihrer Umlaufszeiten und der grössten Durchmesser ihrer Bahnen nach dem dritten. War es nicht eine grossartige Leistung, dieses durch Gründe, nicht etwa durch solche, welche eben so gut falsch als wahr sein können, sondern durch unumstössliche darzuthun?

Es war nun die Zeit gekommen, die Beobachtungen der Kometen gründlich zu studiren, um aus denselben die Bahnen der einzelnen eben so kennen zu lernen, wie Kepler die Bahnen der einzelnen Planeten aus Tycho's Beobachtungen kennen gelernt hatte. Glücklicherweise war, wie ich schon gesagt habe, das Beobachten der Kometen durch Regiomontanus in den Gang gebracht worden, und glücklicherweise war in England ein grosser Astronom, Edmund Halley, welcher Muth und Kraft besass, die seit 200 Jahren aufgesammelten Beobachtungen dieser Art zu Resultaten zu verarbeiten. Im Jahre 1705 legte er der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften in London ein Verzeichniss der Bestimmungsstücke der Bahnen von 24 bis dahin beobachteten Kometen vor, eine der grössten Arbeiten, welcher die Astronomie sich bis

dahin zu erfreuen gehabt hatte, einen Anfang der Kometen-Astronomie, von dem das Sprichwort, dass aller Anfang klein ist, nicht gilt.

Ich möchte gerne fortfahren, meinen Zuhörerinnen und Zuhörern den Reichthum, der nach und nach zu den Gaben von Kepler, Newton und Halley hinzugefügt worden ist, in gleich grossen Massen vorzulegen. Allein wer kühn genug ist, Aufmerksamkeit zu fordern, auf die Zahlen, mit welchen der Schatz der Astronomie gefüllt ist, der darf nie vergessen, dass Zahlen erst durch ihre Bedeutung Werth erhalten, und dass diese Bedeutung gezeigt werden muss, ehe ihr Werth anschaulich werden kann. Ich muss also um Erlaubniss bitten, näher bezeichnen zu dürfen, was das mit Zahlen vollgeschriebene Blatt enthielt, durch welches Edmund Halley den Schatz der Astronomie glänzend bereicherte.

Es enthielt diejenigen Angaben, durch welche die Bahnen der 24 berechneten Kometen von jeder andern Bahn vollständig unterschieden werden können. Was dazu nöthig ist, die Bahn eines Himmelskörpers so anzugeben, dass sie vollständig aus der Angabe erkannt werden kann, übersieht man ohne Schwierigkeit: zuerst muss ihre Figur angegeben werden, was entweder durch beide Durchmesser derselben, oder noch zweckmässiger durch ihre aus diesen folgende kleinste und grösste Entfernung von der Sonne geschehen kann; dann muss die Lage ihrer Ebene gegen eine andere Ebene von bekannter Lage angegeben werden, z. B. gegen die Ebene, in welcher die Erde um die

Sonne läuft; also wie stark sie gegen diese Ebene geneigt ist, und in welcher Richtung die Linie liegt, in welcher beide sich durchschneiden, endlich muss angegeben werden, nach welcher Richtung der grösste Durchmesser der Bahn gewandt ist. In Beziehung auf den sich in dieser Bahn bewegenden Körper muss bestimmt werden, zu welcher Zeit er sich in dem der Sonne nächsten Punkte derselben befunden hat. Mehr konnte aber Halley's kostbares Blatt von den Bahnen der 24 Kometen nicht angeben. Es gab aber wirklich weniger an, und damit hatte es folgende Bewandniss.

Die allgemeinen Gesetze des Weltgebäudes fordern, dass die Himmelskörper sich in elliptischen Bahnen um die Sonne bewegen; sie bestimmen aber nicht, ob diese Ellipsen mehr oder weniger geöffnet sind, überlassen also die Entscheidung hierüber der Untersuchung jedes besondern Falles. In der That entspricht eine von einem Kreise gar nicht oder kaum zu unterscheidende Ellipse dem Gesetze eben so gut, wie die, deren längster Durchmesser 100 Mal länger ist, als der kürzeste, obgleich man also vor der Befragung der Beobachtungen der Kometen schon wusste, dass ihre Bahnen Ellipsen sind, welche nach Kepler's Gesetzen durchlaufen werden, so konnte man doch erst nach dieser Befragung eine gegründete Meinung über die Figur der Bahnen, d. h. über die Grösse ihrer beiden Durchmesser haben. Die Bahnen der Planeten sind sämmtlich beinahe kreisförmig, so dass selbst die des Mercurs, welche (wenn man nur von den ältern Planeten reden will) am wenigsten rund ist, nur eine

den fünfzigsten Theil des Ganzen nicht übersteigende Verschiedenheit der Durchmesser zeigt. Ganz entgegengesetzt fand aber Halley diese bei den 24 Kometen, welche er der Rechnung unterwarf; hier erscheinen die Bahnen immer so stark verlängert, dass nicht die geringste äussere Aehnlichkeit derselben mit den Bahnen der Planeten stattfand. Die Verlängerung erschien sogar so gross, dass die Beobachtungen, welche ihm zu Gebote standen, nicht einmal erlaubten, sie näher zu bestimmen. Es ist nicht schwer zu übersehen, wie die Beobachtungen ihn hier verlassen konnten. Wenn ein Komet sich in einer sehr langen Ellipse bewegt, so liegt nur ein sehr kleiner Theil derselben in der Nähe der Sonne; der bei weitem grössere Theil aber in so bedeutender Entfernung von ihr, dass der Komet, wenn er sich in diesem Theile befindet, nicht hinreichend Licht von der Sonne empfängt, um von der Erde, welche dann gleichfalls sehr entfernt von ihm ist, gesehen werden zu können. Wir sehen dann also den Kometen nur, während er den kleinen Theil seiner Bahn durchläuft, welcher der Sonne zunächst liegt; dieser Theil ist durch die Verfolgung der Kometen mit Fernröhren allerdings ausgedehnter geworden, als er zu der Zeit war, wo nur das unbewaffnete Auge angewandt werden konnte, wie es bis in das 17te Jahrhundert hinein der Fall war; allein auch jetzt wird selten ein Komet gesehen, der noch einmal so weit von der Erde ist, wie diese von der Sonne. Die Beobachtungen, welche Halley anwenden konnte, lagen also sämmtlich in einem sehr

kleinen Theile der Bahnen, überdies noch in einem Theile, welcher in allen stark verlängerten Ellipsen so ähnlich geformt ist, dass die Beobachtungen weit genauer hätten sein müssen, als sie dem Zustande der astronomischen Praxis der damaligen Zeit nach sein konnten, wenn Halley hätte darauf ausgehen wollen, die bestimmte Länge des grössten Durchmessers der Bahnen durch diese Beobachtungen auszumitteln. Dieses ging also über die Beweiskraft der ihm zu Gebot stehenden Thatsachen, und statt die kleinste und grösste Entfernung jedes der 24 Kometen von der Sonne zu bestimmen, blieb ihm nichts übrig, als die erstere allein festzusetzen und die zweite unbestimmt zu lassen.

Der Verlust, welchen diese mangelnde Kenntniss der grössten Entfernung erzeugte, war übrigens nicht unerheblich, denn damit ging zugleich die Kenntniss der Umlaufszeit der Kometen verloren, welche man nur berechnen kann, wenn man den grössten Durchmesser ihrer Bahn kennt; allein in einem Falle enthielt Halley's Verzeichniss den Ersatz des Fehlenden. Es enthielt nämlich drei Kometen, deren einer am 4. September 1531 in seiner grössten Sonnennähe gewesen war; der andere am 26. October 1607; der dritte am 14. September 1682, und unter den Bahnen dieser drei fand eine sehr auffallende Uebereinstimmung statt: alle drei hatten dieselbe kürzeste Entfernung von der Sonne; alle drei waren gleich stark gegen die Ebene der Erdbahn geneigt und durchschnitten sie in derselben Linie; alle drei endlich wandten ihren grössten

Durchmesser nach derselben Richtung — kurz alle drei Kometen hatten dieselbe Bahn beschrieben, und es war durchaus kein Grund vorhanden, zu bezweifeln, dass sie aus verschiedenen Wiederkehren eines und desselben Kometen zur Sonne entstanden waren. Wirklich hätte man einen Zweifel daraus hernehmen können, dass zwischen den beiden ersten Erscheinungen in der Sonnennähe 76 Jahre und 52 Tage, zwischen den beiden letzten aber nur 75 Jahre weniger 42 Tage verflossen waren, der zweite Umlauf also in einer etwa 15 Monate kürzern Zeit vollendet worden war, als der erste, welches nach dem Kepler'schen Gesetze nicht der Fall sein sollte; allein dieser Zweifel verschwand vor einer gründlicheren Berücksichtigung aller in Betracht kommenden Umstände, und Halley konnte kein Bedenken mehr haben, alle drei Erscheinungen einem Kometen zuzuschreiben, dessen nächste Wiederkehr er auf das Jahr 1759 vorausbestimmte. Dieser Bestimmung leistete der Komet wirklich Folge, und auch jetzt wird er unsere Erwartung nicht trügen. — Ich habe zwar noch nicht gesagt, dass dieses der Komet ist, der Halley's Namen führt, aber ich habe die Ansprüche, welche Halley hat, auf diese Art an den Himmel versetzt zu werden, so genügend nachweisen können, dass an seiner Berechtigung zu dieser Ehre kein Zweifel mehr obwalten kann.

So sehr der Reichthum des Gegenstandes mich zur Eile drängt, so muss ich doch den Halley'schen Kometen auf einige Augenblicke verlassen, um den weitern Gang unserer Erkenntniss der Kometen im

Allgememeinen rasch vor Ihren Augen abzurollen. So wie man das Bedürfniss genauerer astronomischer Beobachtungen erkannte, zeigten sich auch Bemühungen, sie herbeizuführen. Der Erfolg wuchs mit der Zeit, und so wie das vorige Jahrhundert fortschritt, stieg die Zuverlässigkeit aller und auch der Kometen-Beobachtungen. Diese letztern haben eine besondere Schwierigkeit, welche darin ihren Grund hat, dass die Kometen selten einen bestimmten Mittelpunkt zeigen, wesshalb man zweifelhaft blieb, auf welchen Punkt man die Beobachtungen eigentlich beziehen sollte. Die Anwendung kraftvollerer Messungsmittel, welche aber erst seit einigen Jahren stattfindet, hat aber auch diese Schwierigkeit beseitigt, indem es sich gezeigt hat, dass sehr starke Fernröhre über den wahren Mittelpunkt eines Kometen keinen Zweifel übrig lassen, wenn derselbe auch in schwächern nicht gehörig unterschieden werden kann. Diese wachsende Güte der Beobachtungen gab Veranlassung, mehreremale den Versuch zu erneuern, der Halley nicht gelungen war, nämlich aus den Beobachtungen einer Erscheinung eines Kometen auch zur Erkenntniss der grössten Entfernung seiner Bahn von der Sonne, und damit der Umlaufszeit zu gelangen; allein selten waren die Beobachtungen lange genug fortgesetzt, um die Hoffnungen irgend eines Erfolges zu rechtfertigen. Für den prachtvollen Kometen von 1769 fand sich durch eine weit spätere sorgfältige Bearbeitung, dass seine Umlaufszeit sicher ein Jahrtausend überschreitet; ein ganz ähnliches Resultat ergab sich für den

Kometen von 1807; von dem Kometen von 1811, einem der schönsten, welche je erschienen sind, und der sehr weit verfolgt werden konnte, liess sich sogar nachweisen, dass er drei Jahrtausende zu seinem Umlaufe verwendet. Kurz alle Kometen, deren Beobachtungen hinreichend waren, eine Grenze für ihre Umlaufszeit zu bestimmen, zeigten eine so weit hinausliegende, dass es schien, als wäre der Halley-sche Komet, von dem man schon wusste, dass er in etwa 75 Jahren seinen Umlauf vollendet, der einzige, der, obgleich er die Grenzen des Planetenlaufs um das Doppelte überschreitet, als näher zur Sonne gehörig zu betrachten ist. Im Jahre 1815 entdeckte aber mein hochverehrter Freund Olbers einen kleinen Kometen, von dem die sorgfältigste Untersuchung bewies, dass er in 72 Jahren um die Sonne läuft, also 1887 wieder erscheinen wird. Dieser also gesellte sich dem Halley'schen bei, und zeigte unwidersprechlich, dass der Halley'sche nicht das einzige Beispiel seiner Art ist. Allein die frühere Ansicht von den Kometen sollte noch weiter berichtigt werden, denn es fanden sich sogar zwei Kometen, welche in noch weit kürzeren Zeiten, der eine in 3¼ Jahren, der andere in 6¾ Jahren um die Sonne laufen, welche also immer in so kleinen Entfernungen von der Sonne bleiben, dass der eine nie die Entfernungen des Jupiters, der andere nie die des Saturns erlangt. Der Komet von 1815 und die beiden eben erwähnten waren nicht früher bekannt geworden, weil sie zu klein sind, um eher entdeckt werden zu können, als

man anfing, Kometen mit Fernröhren zu suchen. Es steht also jetzt fest, dass, wenn auch eine äusserst lange Umlaufszeit der Kometen der gewöhnliche Fall zu seyn scheint, doch eine Ausnahme davon, wie der Halley'sche Komet sie darbietet, keineswegs mehr als eine einzelne betrachtet werden darf. Von den hellglänzenden Kometen scheint aber dieser der einzige zu sein, welcher in einem Menschenleben sich zweimal zeigen kann. Es bedarf dazu eines Lebens von 76 Jahren Dauer.

Ich kehre nun zu ihm zurück, um ihn nicht wieder zu verlassen. Ich muss vor allen Dingen die schon erwähnten Umstände beleuchten, welche die Ungleichheit der Dauer der Umläufe zwischen den Erscheinungen von 1531 und 1607, und zwischen 1607 und 1682 veranlasst haben, Umstände, welche auch bei der Erscheinung von 1759 wieder ihre Wirkung zeigten, indem die Dauer des sich mit dieser Erscheinung endigenden Umlaufs 76 Jahre und 6 Monate betrug, die jetzt auch wieder hervortreten werden, indem die Dauer 76 Jahre und 7½ Monate betragen wird. Um diese zu erklärenden Ungleichheiten der Bewegung unter eine Uebersicht zu bringen, werde ich die Dauer der drei wirklich beobachteten Umläufe und des einen noch zu beobachtenden noch einmal aussprechen:

76	Jahre	und	2	Monate.
74	„	„	10½	„
76	„	„	6	„
76	„	„	7½	„

Dass diese Ungleichheiten ihre Erklärung gefunden haben, geht schon daraus hervor, dass ich die Zeit eines Umlaufs, welcher noch nicht beend gt ist, habe angeben können. Den Schlüssel zur Aufschliessung dieses Räthsels finden wir in Newton's Lehre von den Anziehungen der Weltkörper.

Wenn man die Sonne allein als anziehend betrachtet, und das, was aus dieser Anziehung für die Bewegung der Himmelskörper folgt, der mathematischen Untersuchung unterwirft, so erhält man, wie ich früher schon dargestellt habe, die Kepler'schen Gesctze. Da aber nicht die Sonne allein anzieht, sondern da auch die Planeten Körper sind, und das Anziehen eine Eigenschaft der Körper ist, so ziehen auch sie an, und man kann nicht mehr sagen, dass z. B. die Erde allein der Anziehung der Sonne unterworfen ist, vielmehr ist sie offenbar nicht nur dieser Anziehung, sondern auch den Anziehungen des Jupiters, des Saturns, kurz aller übrigen Himmelskörper unterworfen. Die unmittelbare Folge hiervon ist, dass sie sich nicht so bewegen kann, als sie sich bewegen würde, wenn sie allein der Anziehung der Sonne ausgesetzt wäre, also auch nicht nach den Keplerschen Gesetzen, indem diese eine Folge der alleinigen Berücksichtigung der Anziehung der Sonne sind. Die wahre Bewegung der Erde, und eben so die wahre Bewegung jedes andern Himmelskörpers, muss also mehr oder weniger von der Bewegung abweichen, welche die Kepler'schen Gesetze allein vorschreiben.

Ich bin hier in eine üble Stellung gerathen, deren Schwierigkeit ich nicht verheimlichen will: auf der einen Seite hat Kepler seine Gesetze gerade aus den Beobachtungen der Planeten geschlossen, auf der andern zeige ich jetzt, dass die Bewegung der Planeten den Kepler'schen Gesetzen nicht entsprechen kann. Der Widerspruch ist offenbar. Wir wollen uns damit aber noch nicht für verloren ansehen, sondern uns durchzuschlagen suchen. Nur eine Rückzugslinie ist vorhanden, nämlich die Abweichungen der Bewegung der Planeten von den Kepler'schen Gesetzen müssen so klein sein, dass die Beobachtungen Tycho's von Brahe, welche Kepler seinen Untersuchungen zum Grunde legte, sie nicht verrathen konnten. Wenn dieses wirklich stattfindet, so sind wir gerettet, denn es wird nun klar, wie Kepler etwas, was nur eine Annäherung an die Bewegung der Planeten ist, mit der Bewegung selbst verwechseln konnte und sogar verwechseln musste. Es ist also von der höchsten Wichtigkeit für die ganze Lehre vom Weltgebäude, erstens die Grösse der Anziehungen der verschiedenen Körper des Sonnensystems, also sowohl der Sonne, als auch der Planeten, aus den Erscheinungen, bei welchen diese Anziehungen ihre Wirkungen äussern, genau zu bestimmen, und zweitens mathematisch zu entwickeln, wie gross zu jeder Zeit der Einfluss ist, welchen die Anziehungen der Planeten unter einander auf die sich unseren Beobachtungen darstellenden Oerter derselben äussern. Dieses sind Aufgaben, nicht nur von der grössten Wichtigkeit,

sondern auch von dem grössten Umfange; wenn ich versuchen wollte, die vielfältigen und im Wesentlichen erfolgreichen Bemühungen zu ihrer Auflösung auch nur einigermassen anschaulich zu machen, so würde ich heute und selbst nach mehreren Abenden nicht zu dem Gegenstande meiner Vorlesung zurückkehren können. Es wird auch hinreichen, hier anzuführen, dass die Kräfte, mit welchen die Planeten anziehen, ohne Vergleich viel kleiner gefunden sind, als die mächtige Anziehung der Sonne, so dass selbst Jupiter, welcher unter den Planeten bei weitem der stärkste ist, noch nicht den tausendsten Theil der Kraft der Sonne äussert; und ferner, dass die Einflüsse dieser kleinern Kräfte der Planeten auf diejenige Bewegung, welche die Sonne allein erzeugen würde, so klein sind, dass sie nur kleine Abweichungen von derselben zur Folge haben, welche allerdings durch die weniger verfeinerten Beobachtungen aus dem Anfange des 17. Jahrhunderts, so wie Kepler sie besass, nicht verrathen werden konnten; deren vollständige Berechnung aber gerade die Ursache ist, dass unsere jetzigen weit genauer und sicherer gewordenen Beobachtungen mit der vervollständigten Theorie in derselben befriedigenden Uebereinstimmung sind, wie früher die roheren Beobachtungen mit der unvollständigen Theorie. Wir haben unsern Rückzug glänzend vollendet, statt Verluste zu erleiden, haben wir grossen Vortheil errungen. Was vorher im Widerspruch erschien, ist die stärkste Bestätigung der Anziehungslehre geworden; ihre folgerechte Betrachtung hat gezeigt, dass

die Bewegung der Planeten zahlreiche Ungleichheiten von kleinerem Umfange besitzen muss, die aber, weit entfernt, Mangel an Uebereinstimmung der Rechnung und der Beobachtungen hervorzubringen, gerade nothwendig waren, um beides im vollständigsten Einklange zu erhalten.

Hierdurch werden wir der Erklärung auch der Ungleichheiten der Bewegung, welche der Halley'sche Komet gezeigt hat, so nahe geführt, dass kaum mehr zu zweifeln ist, sie aus derselben Ursache, nämlich aus den Anziehungen, welche er von den Planeten erfährt, hervorgehen zu sehen. Es versteht sich jedoch, dass diese Wahrscheinlichkeit den Astronomen nicht genügt hat, und dass sie sich die Mühe gegeben haben, die Wirkung der Anziehungen der Planeten auf den Kometen in jedem Punkte seiner Bahn auf das Genaueste zu berechnen, um dadurch nicht nur zur vollständigsten Ueberzeugung, sondern auch zur Vorherbestimmung der verschiedenen Wiederkehren zu gelangen. Dass übrigens diese Anziehungen auf die Bewegungen der Kometen weit grössere Wirkungen äussern können, als auf die der Planeten, wird aus der Figur der Bahnen klar. Die der Planeten, welche beinahe kreisförmig sind, kommen sich einander in keinem ihrer Punkte sehr nahe, wesshalb die Anziehung des einen Planeten auf den andern (welche desto grösser wird, je kleiner ihre Entfernung ist) immer sehr klein bleibt. Die Bahnen der Kometen können dagegen wegen ihrer in die Länge gezogenen Figur den Planetenbahnen oft sehr nahe kommen,

wesshalb also die Entfernung eines Kometen von einem Planeten oft sehr klein werden kann, wodurch die Anziehung sehr beträchtlich vergrössert wird, und also grosse Ungleichheiten der Bewegung erzeugt.

Auf diese Art, also mit der Berücksichtigung aller Störungen, welche die Bewegung des Kometen zwischen 1607 und 1682, und von hier an bis 1759 erlitten hat, ist die Wiederkehr von 1759 von dem gelehrten Clairaut, welcher die Rechnungsmethoden angab und von dem damals jungen und kraftvollen Lalande, welcher sie ausführte, noch vor ihrem wirklichen Erfolge vorausbestimmt worden. Die bevorstehende Wiederkehr haben zwei französische Astronomen, sowohl Damoiseau als auch Pontécoulant, ähnlich behandelt, wobei sie die Hülfe vervollkommneter Rechnungsmethoden haben benutzen können. Der Erste hat den 4. November 1835 als Zeit des Durchgangs des Kometen durch seine Sonnennähe erhalten; der Andere den 7. November. Ganz vorzüglichen Fleiss hat aber Professor Rosenberger in Halle auf dieselbe Untersuchung gewandt; er hat die Bahn des Kometen sowohl aus den Beobachtungen des Jahres 1682, als aus denen von 1759 neu und auf die allervollständigste Art untersucht, und der Berechnung der von den Anziehungen der Planeten herrührenden Ungleichheiten seiner Bewegung durch noch weitere Vervollkommnung der Rechnungsmethode mehr Sicherheit gegeben. Seine Rechnungen hat er zwar noch nicht ganz vollendet, sie sind aber schon so weit gediehen, dass man daraus sehen kann, dass der Komet später, als sowohl

Damoiseau wie auch Pontécoulant gefunden haben, nämlich erst gegen den 15. November in seiner Sonnennähe erscheinen wird. *)

Wenn man die Arbeiten der drei genannten Astronomen mit einander vergleicht, so bleibt freilich kein Zweifel darüber, welchem von ihnen die Palme gebührt. Allein es ist noch etwas vorhanden, was, trotz alles angewandten Fleisses, veranlassen kann, dass der Komet früher in der Sonnennähe erscheint, als die Rechnungen angeben. Ueber diese noch problematische Ursache wird die Beobachtung der Wiederkehr uns aufklären, oder wenigstens wird sie zur Aufklärung darüber einen Beitrag liefern. Der Komet von $3\frac{1}{3}$ Jahren Umlaufszeit, dessen ich vorher gedacht habe, hat einen Umstand gezeigt, von welchem früher noch kein Beispiel vorgekommen ist, von welchem es also noch unbekannt ist, ob er sich auch bei dem Halley'schen Kometen zeigen wird oder nicht. Von jenem Kometen sind nämlich bei der Kürze seiner Umlaufszeit schon mehrere Wiederkehren beobachtet worden, und alle sind etwas früher eingetreten, als die sehr sorgfältigen Rechnungen von Encke sie angegeben hatten. Dieses ist keine Folge der Anziehungen, indem der Unterschied sich nach der vollständigen Berücksichtigung aller Anziehungen zeigte; die Beschleunigung der Bewegung rührt also von einer

*) Lehmann's Arbeiten über den Kometen, nach denen der Komet noch später seine Sonnennähe erreicht, waren damals, als Herr Geheimer Rath Bessel diese Vorlesung hielt, noch nicht bekannt. S.

besondern Ursache her, welche auf die übrige Bewegung im Planetensysteme nicht wirkt, indem diese keine Spur einer ähnlichen Beschleunigung zeigen. Man kann zwei Ursachen angeben, welche eine ähnliche Folge haben müssen. Die eine würde die nicht vollkommene Leerheit des Himmelsraumes, in welchem die Weltkörper sich bewegen, sein, wenn derselbe wirklich mit einer ätherischen Flüssigkeit angefüllt angenommen wird, mit einer Flüssigkeit, welche ohne Vergleich weniger dicht ist, als unsere Luft, so kann sie vielleicht, eben ihrer äusserst geringen Dichtigkeit wegen, zwar auf die Bewegung der Planeten keinen merklichen Einfluss äussern, auf die Kometen aber, deren Ansehen zeigt, dass sie federleichte Körper sind, kann sie dennoch merklich einwirken. Hier also könnte der Widerstand hervortreten, welcher ein sogenannter Aether der Bewegung entgegensetzt, ohne dass es desshalb gerade nöthig ist, dass er bei anderen Himmelskörpern sich merklich äussert. Seine Wirkung auf die Bewegung würde übrigens in einer Beschleunigung bestehen, so wie sie beobachtet worden ist. Die andere Ursache, welche man für diese Beschleunigung angeben kann, liegt in dem Schweife, welchen die Kometen zu zeigen pflegen. Dieser besteht aus höchst leichter Materie, welche der Komet von sich treibt, und welche sich meistens in der der Sonne entgegengesetzten Richtung entfernt; man übersieht sehr leicht, dass der Komet keine Kraft nach irgend einer Richtung äussern kann, ohne selbst die Gegenwirkung dieser Kraft nach der entgegengesetzten Rich-

tung zu erfahren; der von dem Kometen abströmende Schweif, den wir sehen, zeigt uns also, dass der Komet selbst noch durch eine andere Kraft, als die anziehende der Sonne, zu dieser getrieben wird, und sich also anders bewegen muss, als er sich bewegen würde, wenn er nur dieser unterworfen wäre. Auch diese Ursache muss eine Beschleunigung der Bewegung erzeugen. Welche von beiden Ursachen die wirklich vorhandene ist, oder ob beide zugleich vorhanden sind, wissen wir bis jetzt nicht; noch weniger können wir wissen, wie stark diese Ursachen auf den Kometen wirken. Der Zweifel über das Endresultat aller Rechnungen über den Kometen liegt also am Tage, und damit ist die erste Frage, welche wir, wie ich am Anfange meiner Vorlesung sagte, an den Kometen richten wollen, erläutert.

Uebrigens ist der Umfang des Zweifels, welcher dieses Endresultat treffen kann, nicht gross genug, um über die Erscheinung, welche der Komet bei seiner Wiederkehr im Ganzen darbieten wird, eine Ungewissheit zu lassen. Bei seinem Herabkommen zur Sonne wird der Komet in den ersten Monaten des Jahrs 1835 in einer Gegend des Himmels stehen, welche in unseren Gegenden der Erde gut zu sehen ist; allein seine Entfernung ist dann noch zu gross, und sein Licht folglich zu schwach, als dass Wahrscheinlichkeit vorhanden sein sollte, ihn mit starken Fernröhren zu sehen. Da man aber von einem Kometen immer nicht genau weiss, wie viel Licht er zeigen wird, so ist seine Unsichtbarkeit zu dieser Zeit auch

nicht so völlig entschieden, dass seine Aufsuchung nicht des Versuches werth sein sollte.*) Im Frühjahre tritt die Sonne zwischen uns und den Kometen, und verhindert daher seine Sichtbarkeit; allein im August wird dieses Hinderniss beseitigt sein, und dann werden wir den Kometen schon mit mässigen Fernröhren entdecken. Im October kömmt er der Erde am nächsten, und zwar wird er dann nur ¼ so weit von uns entfernt sein, als die Sonne; er durchläuft nun sehr schnell die nördlichsten Sternbilder, und wird auf diesem Wege mit blossen Augen gut sichtbar, obgleich bei weitem nicht so prachtvoll sein, wie der Komet von 1811 war. Mit Fernröhren wird man ihn noch im Winter sehen, allein da er schon am Ende des Octobers in die südliche Hälfte des Himmels treten wird, so wird er am Vorgebirge der guten Hoffnung besser und länger beobachtet werden können, als in Europa.

Die Erscheinung des Kometen wird uns aber nicht allein lehrreich werden, weil sie zur bessern Erkenntniss seiner Bewegung führen wird. Auch das Ansehen und die Lichtstärke des Kometen werden wir mit Interesse betrachten. Der Komet von 1811 hat keinen Zweifel darüber gelassen, dass die Schweife der Kometen durch Materie gebildet werden, welche von ihnen ausströmt, ohne sich wieder mit ihnen vereinigen zu können. Tragen die Kometen diesen Ver-

---

*) Er ist in den ersten Monaten dieses Jahres umsonst mit dem Dorpatschen Refractor von Struve, und mit einem 20füssigen Spiegeltelescope von Herschel am Vorgebirge der guten Hoffnung aufgesucht worden. S.



lust, ohne Entschädigung dafür zu erhalten? Werden sie bei jeder Wiederkehr kleiner, oder ziehen sie etwa in den entfernten Theilen ihrer Bahnen neue Materie zu sich? Wir wissen nicht hierauf zu antworten, werden aber nicht unterlassen, das Ansehen des Kometen so genau als möglich zu bemerken, um aus seiner Vergleichung mit den Beschreibungen der früheren Erscheinungen wo möglich eine Antwort auf diese interessante Frage zu erhalten. Ich nenne sie interessant, weil sie die Lebensfrage für die Kometen ist: sie sind unvergänglich, wenn der Verlust ersetzt wird, vergänglich dagegen, wenn sie ihn ohne Ersatz bei jedem Umlauf erleiden.

Auch über die Natur der Materie, aus welcher die Kometen bestehen, hoffen wir einigen Aufschluss zu erhalten, wenigstens wird die nicht sehr grosse Entfernung, in welcher wir den Kometen sehen werden, die Wirkung unserer kräftigen Fernröhre begünstigen. Vorzüglich werden wir darauf ausgehen, in der Zeit, welche die astronomische Beobachtung, d. h. die genaue Bestimmung des Orts des Kometen, uns an jedem Tage übrig lassen wird, Messungen anzustellen, aus welchen hervorgehen soll, ob die Nebelmasse des Kometen im Stande ist, die Strahlen der Fixsterne, welche wir durch sie hindurchsehen werden, von der geraden Richtung abzulenken. Auch hieraus werden wir ein interessantes Resultat ziehen können, denn wenn sich wirklich nachweisen lässt, dass der Nebel des Kometen keine strahlenbrechende Kraft besitzt, wie es wahrscheinlich, aber noch nicht entschie-

den ist, so zeigt sich damit, dass dieser Nebel keine Luft und kein Gas ist. Ob die Beobachtung weiter führen, und zu der Annahme berechtigen wird; dass z. B. das Ausströmen vom Kometen Körpertheile sind, deren Electricität durch die Annäherung an die Sonne erregt wird, und die sich desshalb gegenseitig abstossen, dieses gehört zu den Fragen, über welche man gern durch die Erscheinung des Kometen unterrichtet werden wird, über welche man aber vor derselben keine Meinung haben kann. Der Komet von 1811 zeigte die Art, wie die Kometen ihre Schweife bilden, so augenfällig, und hat uns überdies auf vieles die physische Natur dieser sonderbaren Körper Angehende so aufmerksam gemacht, dass ich die Hoffnung nähre, aus der Beobachtung eines neuen Kometen, von weit kräftigerem und vollständigerem Apparate unterstützt, einen oder den andern Aufschluss, geeignet, vielem luftigen Gerede über Dinge, die man nicht weiss, ein Ende zu machen, hervorgehen zu sehen.

Von den Erscheinungen, welche der Halley'sche Komet gezeigt hat.

Der Halley'sche Komet hat jetzt seinen Umlauf um die Sonne vollendet. Er hat, der Erwartung entsprechend, am Himmel geglänzt und ist nun wieder in seinem Weggehen von der Sonne begriffen. Ich muss also jetzt mein Versprechen erfüllen und berichten, wie der Komet sich gezeigt, und welche Vermehrung unserer Kenntnisse er zurückgelassen hat.

Ich fange mit seiner Bewegung an, obgleich ich darüber weit weniger zu sagen habe als im vorigen Jahre, wo ich die Gründe erläuterte, deren Verfolgung zur Kenntniss der Bewegungen der Kometen im Allgemeinen und des Halley'schen im Besondern, geführt hat. Erinnern Sie sich zurück an die zusammengesetzte Ursache, deren Wirkung sich in der Bewegung eines Kometen offenbart; an die anziehende Kraft, welche nicht nur die Sonne, sondern auch jeder der Planeten auf ihn äussert; an die äusserste Ungleichförmigkeit seiner Bewegung, welche die nothwendige Folge so vielfältiger, obgleich sämmtlich

aus dem allereinfachsten Gesetze hervorgehender Einwirkungen ist — erinnern Sie sich hieran zurück, und Sie werden ohne Bedenken zugeben, dass ein Zusammentreffen der Rechnungen, welche einem dreiviertel Jahrhundert abwesend gewesenen Kometen seine Bewegung anweisen, mit dem Erfolge, welchen die Beobachtungen darlegen, eine Probe der Richtigkeit des Systemes ist, auf welchem die Rechnungen beruhen; eine Probe, deren Schärfe nichts zu wünschen übrig lässt. — Lassen Sie uns sehen, wie diese Probe ausgefallen ist.

Ich habe im vorigen Jahre angeführt, dass unter den drei vorhandenen Berechnungen dieses Kometen, die von Rosenberger sich durch besondere, darauf gewandte Sorgfalt auszeichnete. Später ist noch eine vierte dazu gekommen, von Dr. Lehmann, Prediger in Derwitz bei Potsdam, der den grössten Fleiss angewandt, und wirklich noch etwas mehr gethan hat als Rosenberger, dessen für die Erscheinungen des Kometen in den Jahren 1682 und 1759 gemachte Bestimmungen er übrigens zum Grunde legte. Dagegen hat Lehmann unglücklicher Weise einen Umstand unbeachtet gelassen, welcher in der That, wegen seiner Kleinheit, nur unbedeutende Wirkung zu haben schien, von welchem aber Rosenberger demohngeachtet dargethan hat, dass er nicht unbeachtet bleiben darf. Dieser Umstand hat dem wackern und verdienstvollen Lehmann das Vergnügen geraubt, seine Vorherbestimmung der Wiederkehr von demjenigen Erfolge begleitet zu sehen, welchen sein Fleiss und seine

Sorgfalt verdient hätten. Ohne Nutzen ist seine Arbeit aber desshalb nicht; vielmehr wird sie, von ihm selbst, seiner Absicht gemäss, vervollständigt, für die Erkenntniss der wahren Bewegung des Kometen sehr wichtig sein, und die zu erwartende Uebereinstimmung zwischen ihr und Rosenberger's, gleichfalls zu vervollständigenden Rechnungen wird eine Sicherheit gewähren, welche jedenfalls, bei Arbeiten von dieser Weitläuftigkeit, sehr wünschenswerth ist.

Am erfolgreichsten sind Rosenberger's Rechnungen gewesen. Zwar hat Pontécoulant, durch eine später, jedoch noch vor der Wiederkehr des Kometen, bekannt gemachte Vervollständigung der seinigen, die Durchgangszeit durch den Sonnennähepunkt noch näher getroffen als Rosenberger; allein die Vergleichung der übrigen Bestimmungsstücke der Bahn fällt mehr zu Rosenberger's Vortheil aus. Die von Rosenberger gefundenen Werthe derselben sind so sehr nahe richtig, dass sie mit der ganzen Reihe der jetzt gemachten Beobachtungen, bis auf Kleinigkeiten in Uebereinstimmung sind, welche unerkannt bleiben würden, wenn die Beobachtungen nicht einen hohen Grad von Feinheit besässen. Für die Durchgangszeit des Kometen durch seinen Sonnennähepunkt findet Rosenberger den 12. November, die Beobachtungen ergeben den 16.

Indessen habe ich schon im vorigen Jahre gesagt, dass es nicht nothwendig ist, dass die Kometen in aller Schärfe der Rechnung folgen. Sie müssten dieses, wenn die Kräfte, deren Wirkung auf die Be-

wegung man durch die Rechnung verfolgt, die einzigen wären, welche Einfluss auf dieselbe haben. Aber ausser den in die Rechnung gezogenen Anziehungen der Planeten, kann noch ein Widerstand, falls ein Aether im Weltraume vorhanden ist; oder eine Rückwirkung der Kraft, welche ein Komet anwendet, die Materie von sich zu stossen, welche er durch seinen Schweif verliert, Einfluss auf seine Bewegung erlangen, welche man nicht berechnen kann, weil man weder die eine, noch die andere dieser Ursachen mit der dazu erforderlichen Vollständigkeit kennt. Indessen könnte jede derselben, so wie die Sache jetzt steht, einen grösseren Unterschied als den vorhandenen von 4 Tagen, erklären. Die Annahme eines Aethers würde nur eine Beschleunigung, nicht eine Verzögerung der Bewegung erklären können; allein obgleich der Komet später wiedergekehrt ist, als die Rechnung angegeben hat, so ist es doch noch viel zu früh, hierauf ein Urtheil über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines Aethers im Weltraume zu gründen; es sind noch mehrere Ursachen vorhanden, welche den Unterschied aufheben, oder sogar auf die entgegengesetzte Seite bringen können. Ich glaube auch, dass der Halley'sche Komet nicht eher entscheidend in dieser Frage werden wird, als bis man sich entschliessen wird, die Berechnung seiner Störungen bis zu seiner Erscheinung im Jahre 1531 zurückzuführen und sie mit der ganzen Sorgfalt zu behandeln, deren Nothwendigkeit durch die von den Rechnern jetzt gemachten Erfahrungen gezeigt wird.

Man kann dem Resultate einer solchen, allerdings beträchtlichen Arbeit, nicht vorgreifen, sondern nur wünschen, dass es durch den Eifer der Berechner bald möge herbeigeführt werden.

Ich verlasse also die Bewegung des Kometen und wende mich zu seiner Beschaffenheit. Hierüber haben wir Neues erfahren. Der Komet hat vor unsern Augen Erscheinungen entwickelt; welche die Ursache, woraus sie hervorgegangen sind, so deutlich offenbaren, dass sie nicht verkannt werden kann. Er hat also unsere Kenntnisse von dem Weltgebäude vermehrt.

Ich darf mich aber nicht begnügen, die Resultate aufzuzählen, zu welchen er geführt hat. Ich muss Sie bitten, mir durch die Erscheinungen selbst und später durch die Schlüsse zu folgen, welche sich an dieselben anknüpfen.

Der Komet ist zuerst am 5. August, im Jesuiten-Collegium in Rom, von dem P. Dumouchel gesehen. Da er ausserordentlich blass erschien und selbst mit stärkeren Fernröhren kaum zu unterscheiden war, so musste man ihn, bei dem eintretenden Mondscheine wieder aus den Augen verlieren. Als aber nach der Beendigung desselben, die Nächte wieder dunkel wurden, sah man den Kometen an allen Orten, wo man ihn suchte. Noch zu dieser Zeit erschien er als ein blasser Nebelfleck, dessen Mitte sich jedoch, durch stärkere Zusammendrängung des Nebels, auszeichnete; da er sich aber sowohl der Sonne als der Erde näherte, so vermehrten sich seine Helligkeit und Grösse nach

und nach, ohne jedoch anfangs irgend eine Eigenthümlichkeit hervortreten zu lassen. Wirklich sah ich bis zum 1. October nur Nebel und eine sehr starke Zusammendrängung desselben an einem Punkte, welcher jedoch keineswegs das Ansehen eines festen Körpers hatte.

Auf den 2. October kann man aber den Anfang einer neuen Periode des Ansehens des Kometen setzen, denn von diesem Tage an entwickelte er eine Reihenfolge von Erscheinungen, welche zu den lehrreichsten gehören, welche Beobachtungen über die Beschaffenheit der Weltkörper bis jetzt dargeboten haben. Der erste Anblick des Kometen an diesem Tage war überraschend: sein Mittelpunkt erschien so hellglänzend, dass es schien, als leuchte ein Fixstern der sechsten Grösse durch ihn hindurch: so sah der Komet mit der schwächsten Vergrösserung des sehr lichtstarken Fernrohrs des grossen Königsberger Heliometers aus; wenn man aber eine hundertmalige oder noch stärkere Vergrösserung des Fernrohrs anwandte, so bemerkte man, dass der Unterschied des heutigen Aussehens von dem früheren, nur von einer Vermehrung der Helligkeit des Mittelpunktes des Nebels herrührte, nicht von einer Veränderung seiner Beschaffenheit. Nach wie vor sah man denselben als eine Masse von unbestimmter Begrenzung. Dieses blieb sein Anblick während der ganzen Dauer der Erscheinung; man sah nie einen festen Kern, welcher den Körpern der Planeten auch nur einigermassen ähnlich erschienen wäre. Dennoch werde ich die Masse im Mittelpunkte,

von welcher der Nebel und die übrigen Eigenthümlichkeiten, welche ich nach und nach beschreiben werde, ausgingen, in der Folge den Kern des Kometen nennen.

Die beträchtliche Zunahme der Helligkeit dieses Kerns war nicht das einzige Bemerkenswerthe, was er am 2. October zeigte; von ihm aus ging eine sichtbare Ausströmung von Lichtmaterie, welche an ihrem Anfange, in der Nähe des Kerns, eine beträchtliche Helligkeit besass, und, so wie sie sich von ihm entfernte, schwächer wurde, doch aber bis auf eine Entfernung von 12 bis 15″, von dem Nebelgrunde unterschieden werden konnte, auf welchem sie lag. Diese Ausströmung ging in der Form eines ausgebreiteten Fächers aus dem Kerne hervor; die Richtung ihrer Mittellinie ging ziemlich nahe auf die Sonne zu. Um das Verhältniss der Grösse dieser Ausströmung zu der Grösse des Kerns einigermassen anzugeben, führe ich an, dass ein zur Zeit der grössten Nähe des Kometen gemachter Versuch, die Ausdehnung des sogenannten Kerns zu messen, zwar nicht zu einer bestimmten Angabe einer Grösse führen konnte, welche, der gegebenen Beschreibung derselben zufolge, nicht bestimmt begrenzt war; dass er aber zu der Ueberzeugung führte, dass das Ansehen des Kerns, schon in der Entfernung eines Dreissigstels des Erdhalbmessers von seinem Mittelpunkte, so verwaschen war, dass man seine Grösse nicht diese Grenze überschreitend annehmen kann. Die Entfernung bis zu welcher ich die Ausströmung am 2. October verfolgen konnte,

betrug dagegen $\frac{3}{4}$ Erdhalbmesser. Sie war also mehr als 20 mal so gross als der Halbmesser des Kerns. Der den Kern umgebende Nebel erstreckte sich weit über die Ausströmung hinaus; 12 bis 15 mal weiter als sie selbst. Von einem Schweife, welcher etwa die entgegengesetzte Richtung der Ausströmung hätte haben müssen, konnte ich am 2. October, vielleicht des Mondscheins wegen, nichts bemerken. Fig. 1.

Die nächste, gehörig heitere Nacht war am 8. Oct. Die Ausströmung des Kometen hatte sich in ihrer Länge ausgedehnt, aber in der Breite vermindert. Das Bild eines, weniger als am 2. ausgebreiteten Fächers, passte nicht mehr ganz, indem sich an der rechten Seite *) eine Krümmung eingefunden hatte. Ihre Richtung war stärker als am 2. Oct. gegen die Richtung nach der Sonne geneigt: man sah also, dass die Ausströmung nicht immer in der Richtung der Sonne vor sich ging, und es konnte keinen Augenblick zweifelhaft bleiben, dass diese eine Aufschlüsse verheissende Erscheinung war, deren nähere Erkenntniss jedoch von ferneren Beobachtungen erwartet werden musste.

Die Nacht des 12. Octobers gab Gelegenheit, den Kometen lange zu verfolgen, denn sie war von dem Untergange bis zum Wiederaufgange der Sonne heiter. Die Ausströmung war noch länger und schmäler geworden als am 8., wieder auf der rechten Seite ge-

---

*) Rechts und links beziehen sich auf das Bild im Fernrohre, welches umgekehrt erscheint.

krümmt. Sie gab dem Kometenkerne das Ansehen einer brennenden Rakete, deren Ausströmung, durch Zugwind, rechts abgelenkt wird. In dieser Nacht trat eine Bewegung des ausströmenden Lichtkegels höchst auffallend hervor: am Anfange war seine Richtung 19° links von der Richtung der Sonne, ihre Neigung wuchs aber von Stunde zu Stunde und betrug, gegen 3 Uhr Morgens, 55 Grad. Fig. 2.

Am nächsten Abende zeigte sich eine unerwartete Erscheinung: die Ausströmung war verschwunden, und statt ihrer sah man eine grosse Masse ausgeströmter Lichtmaterie links von dem Kerne des Kometen, in einer noch etwas grösseren Neigung gegen die Richtung der Sonne, als die, bis zu welcher die Ausströmung sich gestern bewegt hatte. Man sah also, dass sie, noch nach dem Schlusse der gestrigen Beobachtungen, ihre Bewegung nach der linken Seite fortgesetzt hatte, allein dass ihr hier die Kraft, sich in Thätigkeit zu erhalten, geschwunden war. Man kann nicht zweifeln, dass die Ausströmung aus einer Wirkung der Sonne auf den Kometen entstehe; wenn aber dieses ist, so ist auch zu erwarten, sie in voller Thätigkeit zu sehen, wenn sie sich in der Richtung ihrer Ursache befindet; dagegen in geringerer oder ganz authörender Thätigkeit, wenn sie sich von dieser Richtung beträchtlich entfernt und also weniger kräftig von ihrer Ursache unterstützt wird. — Gegen 8 Uhr bedeckte sich der Himmel mit Wolken, welche verhinderten, den weiteren Verlauf der Erscheinung zu verfolgen.

Am 14. heiterte er sich eine Viertelstunde lang auf; die Ausströmung war nicht nur wieder erschienen, sondern war prachtvoller als am 12. Sie hatte sich von der linken Seite, wo wir sie am 12. verlassen haben und wo wir am 13. ihre deutlichen Spuren sahen, nach der rechten zurückbewegt und befand sich sehr nahe in der Richtung der Sonne. Ich konnte sie noch in 45″ Entfernung von dem Mittelpunkte des Kerns unterscheiden, woraus die Höhe, bis zu welcher sie reichte, etwa gleich einem Erdhalbmesser folgt.

Am 15. hatte die Ausströmung ihre Bewegung nach der rechten Seite fortgesetzt und hatte die Richtung, welche man den vorigen Beobachtungen zufolge erwarten konnte. Sie war, in beträchtlicher Neigung gegen die Richtung der Sonne, ohne die gestrige Lebhaftigkeit und schien wieder im Verschwinden begriffen zu seyn. Spätere Beobachtungen der Ausströmung führe ich hier nicht an, da sie nicht an aufeinander folgenden Tagen, sondern immer nur vereinzelt und durch mehrere trübe Tage von einander getrennt, gemacht werden konnten und desshalb weniger beweisend sind, wenn es sich, wie jetzt, um die Ausmittelung der wahren Bewegung der Ausströmung handelt.

Aus den angeführten Beobachtungen geht die Art der Bewegung der Ausströmung deutlich hervor: am 12. war sie links von der Richtung nach der Sonne und bewegte sich, im Verlaufe dieser Nacht, noch beträchtlich nach der linken Seite; am 13. wurde sie

selbst nicht gesehen; aber ihr Product, die ausgeströmte Materie, zeigte wo sie gewesen war, nämlich auf der linken Seite; am 14. war sie zu der Richtung nach der Sonne, also nach der rechten Seite, zurückgegangen; am 15. endlich hatte sie ihre Bewegung nach der rechten Seite fortgesetzt und befand sich, in beträchtlicher Neigung gegen die Richtung nach der Sonne, auf dieser Seite. Sie hat also eine regelmässige Bewegung von der Rechten zur Linken, und wieder zurück von der Linken zur Rechten gezeigt. Sie hat ferner grosse Lebhaftigkeit gezeigt, wenn sie der Richtung nach der Sonne nahe war; geringe dagegen, wenn sie ihr fern war.

Die Richtungen, welche ich hier im Allgemeinen angegeben habe, habe ich jedesmal so genau gemessen, als das nicht scharf bestimmte Ansehen der Ausströmung erlaubt hat. Hierdurch habe ich die Mittel erlangt, die wahre Bewegung, von welcher die beobachtete scheinbare die Folge war, näher untersuchen zu können. Es boten sich zwei Ansichten dar, welche beide verfolgt werden mussten, um zu erkennen, welche von beiden den Beobachtungen am besten genügte. Die Linie von dem Kometen nach der Sonne spielt augenscheinlich eine Rolle in der wahren Bewegung der Ausströmung, denn um diese Linie gingen die beobachteten scheinbaren Bewegungen vor sich. Die eine der Voraussetzungen, welche verfolgt wurden, war die einer drehenden Bewegung der Achse der Ausströmung in der Oberfläche eines Kegels, dessen Achse jedesmal nach der Sonne gerichtet ist;

die andere die einer schwingenden Bewegung der Ausströmung in der Ebene der Bahn des Kometen. Die erstere, welche, eben so wohl wie die zweite, scheinbare Bewegungen von der Art der beobachteten zur Folge hat, zeigte sich nicht geeignet zur Erklärung aller beobachteten Richtungen der Ausströmung; die zweite zeigte sich ihnen weit angemessener und verdient auch aus anderen Gründen den Vorzug. In der ersten Voraussetzung bleibt nämlich unerklärt, dass die Lebhaftigkeit der Ausströmung gross war, wenn sie nahe in der Richtung nach der Sonne erscheint; klein, wenn sie beträchtlich von dieser Richtung abwich. Denn in dieser Voraussetzung ist der Unterschied der Neigungen gegen die Sonne nur scheinbar, während sie in der Wirklichkeit immer gleich bleiben. In der zweiten Voraussetzung ist der Unterschied der Neigungen aber wirklich und kann daher die wahrgenommene physische Folge haben. Ferner muss sich noch ein anderer Unterschied der beiden Voraussetzungen in der Ausdehnung zeigen, in welcher wir den ausströmenden Kegel von Lichtmaterie sehen: es ist klar, dass er sich, in der ersten Voraussetzung unter sehr verschiedenen perspectivischen Verkürzungen zeigen muss, wenn er, in entgegengesetzten Punkten seiner Bewegung auf der Kegeloberfläche, durch die Richtung nach der Sonne geht; so wie auch, dass die zweite Voraussetzung diese Verschiedenheit der Verkürzungen nicht fordert. Auch hier zeigen sich die Beobachtungen der zweiten günstig und der ersten un-

günstig. Endlich ist die Annahme einer Drehung des Kometenkerns um eine, nicht gleiche Richtung behaltende, sondern sich immer der Sonne zuwendende Achse, nur dann statthaft, wenn man besondere physische Eigenschaften, den allgemeinen mechanischen zur Hülfe ruft.

Man kann also nicht zweifelhaft sein, wenn es sich um die Wahl zwischen beiden Voraussetzungen handelt. Die Verfolgung der Annahme einer schwingenden Bewegung der Ausströmung in der Ebene der Bahn, hat gezeigt, dass die Dauer einer Schwingung 2 Tage und 7 Stunden war, und dass die Neigung gegen die Richtung nach der Sonne, bis zu welcher die Schwingungen gingen, etwa 60 Grad betrug. Man hat ein getroffenes Bild dieser Bewegung, wenn man sich den ausströmenden Kegel von Lichtmaterie als ein Pendel vorstellt, welches sich in der Ebene der Bahn der Kometen bewegt, am Anfange seiner Bewegung einen Winkel von 60° mit der Richtung nach der Sonne macht, dann sich dieser Richtung nähert, über sie hinausgeht, und nach 2 Tagen 7 Stunden auf der entgegengesetzten Seite wieder zu demselben Winkel von 60° gelangt, von wo ab es eine neue Schwingung in entgegengesetzter Richtung der vorigen anfängt. Es würde sehr interessant gewesen sein, wenn man diese Schwingungen, durch mehrere ununterbrochen heitere Nächte hindurch, hätte verfolgen können; man muss aber, unter dem 55sten Breitengrade, mit theilweisem Gelingen einer Beobachtungsreihe, zufrieden sein, und sich diesesmal Glück wün-

schen, dass der Zustand des Himmels wenigstens so gut gewesen ist, dass man die Natur der Erscheinung hat erkennen können.

Keine Bewegung ist ohne Ursache, und jede deutet die ihrige mehr oder weniger offenbar an. In dem gegenwärtigen Falle wird eine Kraft angedeutet, welche den Theil der Oberfläche des Kometenkerns, von welchem die Ausströmung ausging, zu der Richtung der Sonne zurückzubringen suchte, wenn er sich von ihr entfernt hatte; nur eine solche Kraft kann eine Schwingung unterhalten. Die gewöhnliche Anziehung der Sonne giebt in der That eine Kraft dieser Art, wenn der Kern des Kometen nicht kugelförmig, sondern ein nach einer Richtung verlängerter Körper ist; sie ergiebt sie dann, weil die der Sonne näheren Theile des Kerns etwas stärker angezogen werden, als die entfernteren; allein der Unterschied beider Anziehungen ist, wegen der Kleinheit des Kometenkerns, vergleichungsweise mit seiner Entfernung von der Sonne, so sehr klein, dass die daraus entstehende drehende Kraft fast unmerklich ist, und bei Weitem nicht hinreicht, eine Schwingung von der Dauer weniger Tage zu unterhalten. Die beobachtete Schwingung ist also nicht eine Folge der gewöhnlichen Anziehung der Sonne; sie ist die Folge einer von dieser verschiedenen Kraft.

Diese Kraft hat aber die Schwere des Kometen zur Sonne weder vermehrt noch vermindert, denn seine Bewegung um die Sonne entspricht keiner anderen als ihrer gewöhnlichen Anziehungskraft.

Sie ist also eine Kraft, deren Wirkung in einem Sinne, eine gleiche Wirkung im entgegengesetzten Sinne bedingt; eine Kraft von der Art derjenigen, welche der Magnetnadel ihre Richtung und wenn diese gestört wird ihre Schwingungen giebt, ohne ihre Schwere im Mindesten zu verändern. Sie ist eine Polarkraft.

Wir sehen also, dass eine Polarkraft in dem Halley'schen Kometen wirksam gewesen ist; eine sich auf die Sonne beziehende Polarkraft, deren beide Gegensätze der Sonne freundlich und feindlich sind. Dieses ist das erste Beispiel dieser Art, welches man im Weltgebäude nachweisen kann. Ueberraschen kann es nicht mehr, nachdem die Physiker eine grosse Menge von Erscheinungen erforscht haben, welche von Polarkräften herrühren; nachdem uns bekannt ist, dass der Körper der Erde eine Polarität, nämlich die magnetische besitzt, von welcher wir jedoch nicht mit Sicherheit wissen, dass sie eine Beziehung zur Sonne hätte.

Ich habe bis jetzt nur von einer Erscheinung geredet, welche der Komet gezeigt hat. Es sind aber noch andere, sehr auffallende vorhanden; die Figuren der die Kometen umgebenden Nebelhüllen und ihrer Schweife sind so merkwürdig und bieten solche Verschiedenheiten dar, dass man, wenn man darauf ausgeht, die Kräfte kennen zu lernen, welche solche Figuren hervorbringen können, darauf rechnen darf, neue Einsicht in die Natur der Kometen zu erlangen. Der Weg zu einer Untersuchung dieser Art liegt

offen vor uns. Augenscheinlich entfernen sich sichtbare Theilchen von den Kometen: sie entfernen sich nicht gesetzlos oder willkürlich; sie sind den allgemeinen Gesetzen der Bewegung unterworfen, von welchen Laplace treffend und schön sagte: „dass sie die Bewegung des Staubkorns, welches der Wind fortführt und die Bewegung der Himmelskörper auf gleiche Weise bestimmen.“ — Diese Gesetze also müssen auf die Bewegungen der Theilchen angewandt werden, welche sich von den Kometen entfernen; durch ihre Vergleichung mit den Beobachtungen muss man auf die Kräfte schliessen, welche der Grund der Erscheinungen sind.

Ein Komet wirkt anfangs auf die Theilchen, welche er von sich entfernt, dadurch, dass er ihnen eine Geschwindigkeit und eine Richtung ihrer Bewegungen ertheilt; wenn die Theilchen schon von ihm getrennt sind, wirkt er auf sie fort, durch anziehende oder abstossende Kräfte, welche er äussert: auch die Sonne wirkt auf sie anziehend oder abstossend. Das Resultat der anfänglichen Bewegung der Theilchen und der Kräfte, welchen sie ausgesetzt sind, ist die fernere Bewegung, welche sie zeigen; der Zusammenhang dieses Resultats mit den Kräften, von welchen es die Folge ist, muss, durch die Gesetze der Bewegung, vollständig entwickelt werden, ehe man darauf ausgehen kann, von dem Resultate auf die Kräfte zu schliessen.

Die Entwickelung dieses Zusammenhanges gehört zu einer Classe von Aufgaben, von welchen anerkannt

ist, dass sie nur unter gewissen Beschränkungen ihrer Allgemeinheit aufgelöset werden können. Glücklicher Weise ist hier eine solche Beschränkung vorhanden. Man hat allen Grund, anzunehmen, dass die Kräfte, welche ein Komet auf von ihm ausgestossene Theilchen äussert, nur in sehr kleinen Entfernungen von ihm, eine merkliche, oder mit der Wirkung der Sonne vergleichbare Grösse besitzen; nimmt man demgemäss an, dass der Komet eine sehr kleine Wirkungsphäre besitzt, und führt man, statt der anfänglichen Bewegung der Theilchen, die Bewegung derselben in die Rechnung ein, welche sie in dem Augenblicke ihres Austrittes aus dieser Wirkungssphäre besitzen, so steht der Auflösung der Aufgabe nichts mehr im Wege und sie kann bis zu dem Resultate durchgeführt werden. Dieses habe ich gethan und dadurch das Mittel erlangt, zu erkennen, welche Bedingungen erfüllt werden müssen, damit beobachtete Figuren des Nebels oder Schweifes statt finden können.

Um hieraus Nutzen zu ziehen, muss man kennen lernen, was die Beobachtungen über den Nebel und den Schweif eines Kometen ergeben haben. Der Halley'sche Komet hat gezeigt, dass die Ausströmung, welche aus einem mehr oder weniger genau der Sonne zugewandten Theile der Oberfläche des Kerns hervorging, sich nach beiden Seiten krümmte, so dass Theilchen, welche am Anfange ihrer Bewegung der Sonne zugingen, bald anfingen sich von ihr abwärts zu bewegen. Man sah dieses ganz unzweideutig am 22. October, an welchem Tage die Aus-

strömung von einem beträchtlichen Theile der Oberfläche des Kerns ausging und nicht mehr wie früher, die Figur eines ausgebreiteten Fächers zeigte, sondern einem, nach beiden Seiten herabwallenden Federbusche vergleichbar war und einen wirklich prachtvollen Anblick gewährte. Fig. 3. Indessen besitzen wir Abbildungen eines anderen Kometen, des im Jahre 1744 erschienenen, welcher zu den grössten und schönsten gehört, von denen wir Kenntniss haben, und welcher daher die ihm eigenthümlichen Erscheinungen in einem grossen Masstabe und mit der auffallendsten Deutlichkeit zeigte. Diese Abbildungen sind von Heinsius, welcher nicht nur in dem Besitze eines ausgezeichnet schönen Fernrohrs, sondern auch in dem noch viel schätzbareren Besitze einer Aufmerksamkeit und Genauigkeitsliebe war, welche nichts zu wünschen übrig lassen. Diese vortrefflichen Abbildungen haben desto grösseren Werth, da sie, ausser den gegenwärtig gemachten, die einzigen ihrer Art sind; welches zum Theil dadurch erklärt werden kann, dass nicht alle Kometen beachtungswerthe Eigenthümlichkeiten zeigen, zum Theil aber auch den Astronomen oder ihren Fernröhren zur Last zu fallen scheint, indem wenigstens nicht wahrscheinlich ist, dass der Halley'sche Komet, welcher jetzt solche Eigenthümlichkeiten gezeigt hat, sie nicht auch bei seiner früheren Erscheinung im Jahre 1750 gezeigt haben sollte. — Diese Zeichnungen von Heinsius vervollständigen und ergänzen das, was ich an dem Halley'schen Kometen beobachtet habe. Diesem Kometen war der von

1744 durchaus ähnlich: beide zeigten sich anfangs ohne sichtbare Ausströmung nach der Sonne; beide fingen darauf an, von einem kleinen Theile der Oberfläche der Sonne zu sichtbar auszuströmen; später vergrösserte sich die ausströmende Fläche: die Ausströmung krümmte sich, auf beiden Seiten, von der Sonne abwärts und ging auf diese Art in den Schweif über. Beide Kometen durchliefen also dieselben Stadien und wirklich ist meine Abbildung vom 22. October 1835, der Heinsius'schen vom 31. Januar 1744 fast genau gleich. Von hier an aber zeigte der Komet von 1744 den ferneren Verlauf der Erscheinungen ohne Vergleich viel deutlicher als der Halley'sche. Der ausströmende Theil der Oberfläche vergrösserte sich im Jahre 1744 fortwährend und dehnte sich nach und nach über die ganze, der Sonne zugewandte Hälfte des Kerns aus; die Krümmung der Ausströmung von der Sonne abwärts vermehrte sich und bildete zwei Schenkel eines Schweifes, welche in den schon vorhandenen Schweif übergingen und sich mit diesem von der Sonne abwärts erstreckten. Fig. 4. Diese Beschreibung lässt nicht den geringsten Zweifel darüber, dass Theilchen, welche sich anfangs der Sonne zu bewegten, später die Richtung ihrer Bewegung veränderten, und sich von der Sonne entfernten. Diese Theilchen sind entweder in zwei Schenkeln einer krummen Linie aufwärts gegangen, oder sie haben sich auf der Oberfläche desjenigen körperlichen Raumes bewegt, welcher durch Drehung dieser krummen Linie um ihre Achse entsteht. Beide Fälle können

durch die unmittelbare Beobachtung nicht unterschieden werden; beide sind aber auch gleichgültig für die Folgerungen, welche ich daraus ziehen werde.

Diese Erscheinung, nämlich, dass Theilchen, welche von allen Punkten der der Sonne zugewandten Hälfte des Kerns, also in allen Winkeln mit der Richtung der Sonne, bis zu dem rechten Winkel hin, ausströmten, später sämmtlich in einer und derselben krummen Linie aufwärts gestiegen sind, diese Erscheinung sage ich, ist sehr merkwürdig, indem sie auf eine besondere Eigenschaft der Bewegungen der Theilchen deutet. Man sieht leicht, auch ohne alle Rechnung ein, dass Theilchen, welche in verschiedenen Richtungen, aber mit gleichen Geschwindigkeiten, aus der Wirkungssphäre des Kometen ausgehen, sehr verschiedene Bahnen beschreiben müssen: die, welche sich, bei ihrem Ausgange, in kleinen Winkeln mit der Richtung nach der Sonne bewegen, müssen dieser Richtung näher bleiben; die in grösseren Winkeln ausgehenden müssen sich von ihr mehr entfernen; die ganze Masse, der sich mit gleichen Geschwindigkeiten, aber in verschiedenen Richtungen, von dem Kometen entfernenden Theilchen, muss sich also über einen grossen Raum verbreiten und kann nicht dem Zuge einer krummen Linie folgen. Dieses letztere ist aber wirklich geschehen. Es folgt daraus, dass wenigstens eine der beiden Annahmen, welche zu dem entgegengesetzten Resultate führen, der Natur nicht entspricht. Eine derselben, nämlich das Ausgehen der Theilchen in verschiedenen Richtungen, ist durch

den Anblick der Heinsius'schen Zeichnungen unmittelbar erwiesen; die andere, nämlich die Gleichheit der Geschwindigkeiten in den verschiedenen Richtungen, ist also die unrichtige. Es wird aus der beobachteten Figur des aufsteigenden Stromes klar, dass die in ihm enthaltenen Theilchen, den Kometen mit desto kleinerer Geschwindigkeit verlassen haben, je mehr die Richtung ihres Ausganges sich der, auf die Richtung nach der Sonne senkrechten näherte. — Ich habe den Grund dieses Schlusses, auch ohne eine Rechnung, vor Augen legen wollen; die Rechnung führt aber einen Schritt weiter; sie zeigt, dass alle Theilchen, in so verschiedene Richtungen sie auch ausgehen mögen, sich mit gleicher Geschwindigkeit von der durch die Sonne und den Kometen gelegten geraden Linie entfernen müssen, wenn sie alle in derselben Bahn aufwärts gehen sollen.

Dieses war die an der Ausströmung des Kometen von 1744 beobachtete Erscheinung. Die Folgerung, welche ich eben daraus gezogen habe, tritt in ihrer wahren Bedeutung deutlicher hervor, wenn man die Bewegung, welche ein Theilchen bei seinem Ausgange aus der Wirkungssphäre des Kometen hatte, in zwei andere zerlegt, nämlich in die senkrecht auf die, die Sonne und den Kometen verbindende Linie gerichtete, von welcher ich eben angeführt habe, dass sie für alle Theilchen einen gleichen Werth hatte, und in die dieser Linie gleichlaufende. Die letztere wird desto grösser, je kleiner die Neigung der anfänglichen Bewegung gegen die Richtung nach der Sonne

ist; sie geht, auf entgegengesetzten Seiten des Mittelpunktes des Kometen, von diesem abwärts und ist also das Resultat einer Kraft, welche die Theilchen, gleichlaufend mit dieser Richtung, von dem Mittelpunkte zu entfernen sucht. Unter den Beobachtungen von Heinsius findet sich eine, welche in dieser Beziehung vorzüglich interessant ist; es ist die vom 31. Januar 1744, an welchem Tage zwei sichtbare Ausströmungen vorhanden waren, die eine nach der Sonne, die andere von ihr ab gerichtet. Fig. 5. Diese Beobachtung giebt also eine augenscheinliche Darstellung dessen, was ich aus der Figur der Ausströmung gefolgert habe.

Die Kraft, welche die den Kometen verlassenden Theilchen nach zwei entgegengesetzten Richtungen von dem Mittelpunkte des Kometen entfernt, ist wieder eine Polarkraft, eine sich auf die Sonne beziehende Polarkraft; wahrscheinlich dieselbe Polarkraft, welche die schwingende Bewegung des Kerns erzeugt. Wir sind also durch zwei, sich auf ganz verschiedene Art offenbarende Erscheinungen, auf die Wirkung einer solchen Kraft geführt worden. Dieselbe Kraft lässt sich aber noch weiter an den Kometen nachweisen; vorzüglich deutlich an dem grossen Kometen von 1811.

Der Schweif dieses Kometen hatte eine sehr auffallende Gestalt; er war von dem Kerne ganz getrennt, indem dieser in dem Inneren eines krummlinigt gestalteten Streifens stand, welcher zwei in der von der Sonne abgewandten Richtung offene Schenkel

zeigte. Fig. 8. Olbers hat diesen Kometen sehr schön beschrieben, und bemerkt, dass dieses Ansehen entstehen muss, wenn die Lichtmaterie sich in der Oberfläche eines kegelähnlichen körperlichen Raumes aufwärts bewegt. Vergleicht man die Theorie der Bewegung der Schweiftheilchen mit dieser Erscheinung, so zeigt sie unmittelbar, dass, auch bei diesem Kometen die Schweiftheilchen sich sämmtlich mit gleicher Geschwindigkeit von der die Sonne und den Kometen verbindenden Linie entfernt haben. Auch dieser Komet zeigte also die Wirkung der Polarkraft.

Nach Olbers Urtheile sind viele Kometen dem von 1811 in der Figur ihrer Schweife ähnlich gewesen, wie ihre vorhandenen, wenn auch sehr mangelhaften Beschreibungen, andeuten. Es scheint also, dass die Polarkraft nicht bloss in den Kometen von 1744 und 1811 und in dem Halley'schen wirkte, sondern dass sie eine allgemeinere, vielleicht die allgemeine Eigenschaft der Kometen ist. In dieser letzten Beziehung bemerke ich, dass beide dem Anscheine nach so verschiedenen Arten von Schweifen, nämlich die einfachen und die aus zwei von einander entfernten Schenkeln bestehenden, aus einer und derselben Theorie hervorgehen und nur dadurch ein verschiedenes Ansehen erhalten, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Theilchen sich von der, die Sonne und den Kometen verbindenden Linie entfernen, für verschiedene Kometen verschieden ist. Ein grösserer Werth dieser Geschwindigkeit giebt zwei von einander entfernte Schenkel des Schweifes; ein kleiner

bringt dieselben einander näher; wenn sie sich so stark nähern, dass sie nicht mehr getrennt erscheinen, so entsteht ein einfacher Schweif. Ein solcher beweiset also keinesweges das Nichtvorhandensein einer Polarkraft. Ich bemerke bei dieser Gelegenheit, dass auch für eine polarische Ausströmung eine Analogie auf der Erde, nämlich in den Nordlichtern, vorhanden zu sein scheint; dass diese aber Beziehung zu der Sonne hätten, ist nicht bekannt. Die Planeten und die Kometen scheinen dadurch verschieden zu seyn, dass in jenen die Schwerkraft, in diesen Polarkräfte die vorherrschenden sind.

Die Kometen bieten noch eine Erscheinung dar, durch deren Vergleichung mit der Theorie der Bewegung der Schweiftheilchen man zu einer wichtigen Bestimmung gelangen kann, nämlich zu der Bestimmung der Art und Grösse der Kraft, mit welcher die Sonne auf diese Theilchen wirkt. Die Erscheinung, durch welche man ein Urtheil hierüber erlangen kann, ist die Richtung, in welcher der Schweif eines Kometen sich zeigt.

Ich werde mich bemühen, den Zusammenhang zwischen der wirkenden Kraft und der Richtung des Schweifes zu erläutern. Die Theilchen, welche den Kometen verlassen, haben ausser der Bewegung, welche er ihnen aus eigener Kraft mittheilt, auch die Bewegung des Kometen in seiner Bahn, vermöge welcher sie ihm anfangs folgen; genau so, wie ein gerade in die Höhe geworfener Stein der Bewegung der Erde folgt, und in die Hand, welche ihn aufge-

worfen hat, zurückfällt, obgleich diese, während der Zeit seiner Bewegung in der Luft, meilenweit fortgerückt ist. Diese Bewegung wird die Ursache, dass die Schweiftheilchen von dem Punkte, wo sie den Kometen verlassen, nicht entweder gerade in die Höhe, oder gerade herabsteigen, d. h. sich in der der Sonne entgegengesetzten, oder der auf sie zugehenden Richtung bewegen. Die Kraft, mit welcher die Sonne auf sie wirkt, sucht sie allerdings, wenn sie abstossend ist, in der ersten Richtung, wenn sie anziehend ist, in der zweiten zu bewegen; allein da sie die Bewegung nicht vernichten kann, welche die Theilchen von dem Kometen selbst schon angenommen haben, so müssen diese eine Bewegung annehmen, welche nicht mit der Richtung der Kraft zusammenfällt. Um dieses weiter zu verfolgen, werde ich die Bewegung eines Theilchens betrachten, welches den Kometen in der genau von der Sonne abgewandten Richtung verlässt und welches von einer abstossenden Kraft der Sonne getrieben wird. Während dieses Theilchen anfangs die Bewegung des Kometen selbst besitzt, entfernt es sich zugleich von ihm, und wird, durch die Kraft der Sonne, in jedem Augenblicke gerade von ihr abwärts getrieben; da es hierdurch keine grössere Seitenbewegung erlangt als die, die es ursprünglich hatte, und da die Linien von der Sonne nach dem Orte des Kometen zur Zeit des Ausganges des Theilchens, und nach seinem Orte zu einer späteren Zeit gezogen, auseinanderlaufen, so wird klar, dass es der letzteren Linie nicht folgen

kann, sondern zurückbleiben muss. Dieses Zurückbleiben wird desto stärker, je schwächer die Kraft ist, mit welcher die Sonne das Theilchen von sich entfernt. Man sieht hieraus, wie ein Zusammenhang zwischen der Kraft der Sonne und den Richtungen, in welchen die Schweiftheilchen sich bewegen, vorhanden ist. Die schon mehrmals erwähnte Theorie giebt den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung vollständig an; sie setzt nicht eine bestimmte Richtung des Ausganges der Theilchen voraus, sondern verstattet, jede beliebige Annahme darüber zu verfolgen; sie zeigt hierdurch die Verbindung sowohl der Figur, als der Richtung des Schweifes eines Kometen, mit denjenigen Bedingungen, von welchen beide abhängen; sie wird endlich das Mittel, wodurch man von der Richtung des Schweifes auf die Grösse der wirkenden Kraft schliessen kann.

Am 15. October sah ich den Schweif unseres Kometen 15 bis 20 Grad lang, vermuthe aber, dass er, bei sehr durchsichtiger Luft, noch weiter hätte verfolgt werden können. Seine Richtung konnte ich durch die Fixsterne bestimmen, welche ihn umgaben. Hieraus ging hervor, dass er eine Neigung von 9° 4′, gegen die der Sonne entgegengesetzte Richtung besass. Die Rechnung zeigte ferner, dass diese Neigung die Folge einer abstossenden Kraft der Sonne, und dass die Stärke derselben fast das Doppelte der Stärke der gewöhnlichen anziehenden Kraft derselben war. Ich kann dieses Resultat nicht als eine genaue Bestimmung ansehen, indem die Beobachtung

der Richtung des Schweifes, auf welcher es beruhet, bei der Unbestimmtheit des Ansehens desselben, nur einen geringen Grad von Sicherheit besitzen kann; allein eine Annäherung an die Wahrheit ist es; eine Annäherung, welche hinreicht, mit Sicherheit zu zeigen, dass die Kraft eine abstossende von beträchtlicher Grösse war. Man kann auch im Allgemeinen nachweisen, dass die Erscheinung sehr langgestreckter Kometenschweife, welche so häufig beobachtet worden sind, nur durch eine von der gewöhnlichen anziehenden Kraft der Sonne beträchtlich verschiedene Kraft erklärt werden kann; während eine dieser beinahe oder ganz gleiche Kraft nur zur Erklärung mehr oder weniger runder Nebelhüllen hinreicht.

Von welchem Gesichtspunkte aus wir auch die Kometen betrachtet haben, so sind wir immer auf Kräfte geführt worden, welche von der gewöhnlichen anziehenden Kraft der Sonne gänzlich verschieden sind. In dem Körper des Kometen selbst hat sich die Wirkung einer Polarkraft gezeigt; in dem Schweife die Wirkung einer abstossenden Kraft. Diese letztere kann nur vorhanden sein, wenn eine Polarkraft vorhanden ist. Denn da der Schwerpunkt der ganzen Masse der Kometen, sich so um die Sonne bewegt, wie jeder schwere Körper, so müssen die Theile dieser Masse, welche die abstossende Kraft der Sonne erfahren, während sie noch mit dem Kometen verbunden waren, entweder der gewöhnlichen anziehenden Kraft der Sonne unterworfen gewesen

sein, oder wenn sie damals schon eine abstossende Kraft der Sonne erfuhren, so muss dieser durch eine Vermehrung der anziehenden Kraft zwischen der Sonne und anderen Theilen der Kometenmasse das Gleichgewicht gehalten sein. In beiden Fällen sind also Kräfte vorhanden, welche zu der gewöhnlichen Schwere hinzukommen und sich auf die Richtungen nach und von der Sonne beziehen. Ich werde auf diese Kräfte zurückkommen, für jetzt aber noch anderes Bemerkenswerthe anführen, was aus den Beobachtungen des Halley'schen Kometen hervorgegangen ist.

Ich habe schon in der kurzen Beschreibung, welche ich von dem Ansehen des Kometen mitgetheilt habe, angeführt, dass die Ausströmung einigemal vorzugsweise nach der rechten Seite gekrümmt erschien; zu andern Zeiten war dieses nicht der Fall; immer aber zeigte sich die ausgeströmte Lichtmaterie auf der rechten Seite etwas dichter als auf der linken, und an der der Sonne zugewandten Grenze derselben war eine Unterbrechung ihrer Krümmung sichtbar, indem eine etwas dunklere Stelle in die Grenze der gleichförmigen Krümmung hineintrat. Diese Umstände erscheinen vielleicht geringfügig; ich erwähne ihrer hier nur, um zu bemerken, dass sie aus der Verbindung der Abstossung der ausströmenden Theilchen mit der Schwingung des Kometen selbst erklärt werden können, also nicht als Folge besonderer Ursachen erscheinen. Aus der Theorie kann man eine Schätzung der Geschwindigkeit schöpfen, mit welcher die Ausströmung in der Richtung der Sonne die

Wirkungssphäre des Kometen verlassen hat. Diese Geschwindigkeit steht nämlich in einer Verbindung mit der Grösse der abstossenden Kraft der Sonne und mit der Ausdehnung des Nebels auf der Sonnenseite, aus welcher man sie finden kann, wenn man die erste als aus der Richtung des Schweifes schon bekannt geworden, und die zweite als durch die Beobachtungen gegeben annimmt. Die völlige Unbestimmtheit der Begrenzung des Nebels kann zwar nicht zu einer bestimmten Beobachtung führen; allein wenn man die Schätzung, dass der Nebel sich zur Zeit der grössten Nähe des Kometen vier Minuten weit estreckt habe, annehmen will, so erhält man die Ausgangsgeschwindigkeit der Ausströmung zwischen 15 und 16 Erdhalbmessern täglich, oder etwa 4000 Fuss in der Secunde.

Ueber das Verhalten des Kometen zu dem Lichte hat die jetzige Erscheinung desselben auch einige Wahrnehmungen geliefert, welche ich kurz berühren werde. Am 29. September ging er sehr nahe bei einem Fixsterne der zehnten Grösse vorbei und gab dadurch eine willkommene Gelegenheit, zu untersuchen, ob seine Nebelhülle fähig war das Licht zu brechen. Ich beobachtete eine Reihenfolge von Oertern des bedeckt werdenden Sterns, sowohl ehe der Nebel ihn berührte und nachdem er ihn schon wieder verlassen hatte, als auch während er im dichtesten Nebel erschien. Diese Beobachtungen geben keine Veränderung des Ortes des Sterns zu erkennen und verrathen also auch keine Spur einer Strahlenbrechung;

die Schärfe des angewandten Beobachtungsmittels war aber so gross, dass sich eine Strahlenbrechung von einer Secunde nicht hätte verbergen können. Indessen kam der Komet dem Stern nicht näher als bis auf 6 bis 7″; ob eine noch grössere Nähe eine Strahlenbrechung verrathen haben würde, kann hieraus nicht mit Sicherheit entschieden werden; wahrscheinlich aber ist es nicht, da der in 6 bis 7″ Entfernung von dem Mittelpunkte des Kerns schon sehr dichte Nebel keine Spur davon zeigte. Vor der Erscheinung des Kometen rechnete ich auf häufigere Gelegenheiten, Vorübergänge desselben vor Sternen zu beobachten; allein es zeigte sich nur diese eine. Wenn dem Kometennebel keine strahlenbrechende Kraft beigelegt wird, so darf er auch wohl nicht als eine gasartige Flüssigkeit angesehen werden, sondern er erscheint als eine Anhäufung getrennter Theile; wenigstens kennen wir kein Gas, welches keine Wirkung auf das Licht äusserte.

Nahe hiermit verwandt ist die Frage, ob der Kometennebel vollständig oder unvollständig durchsichtig ist. Ich bin nicht zweifelhaft darüber, dass Sterne immer merklich an Licht verloren, wenn sie in den Nebel traten; Olbers hat dasselbe bei dem Kometen von 1811 wahrgenommen; einige andere Beobachter geben aber das Gegentheil an. Es kann indessen nicht bezweifelt werden, dass das Licht der im Nebel erscheinenden Sterne schon durch den hellen Grund, auf welchem sie gesehen werden, geschwächt werden müsste, selbst wenn der Nebel vollkommen durchsichtig wäre. Eine gegen die vollkommene

Durchsichtigkeit entscheidende Beobachtung hat indessen Arago gemacht: er hat durch eine Analyse des Lichtes des Kometen gefunden, dass er polarisirtes Licht enthalten hat, welches er nur enthalten konnte, wenn er fremdes Licht zurückzuwerfen fähig war. Diese Fähigkeit ist ein Beweis für die unvollkommene Durchsichtigkeit; denn sie zeigt, dass das Licht nicht ungehindert durch den Kometen hindurchgeht.

Die eben erwähnte Beobachtung Arago's ist noch von einer anderen Seite wichtig, indem sie feststellt, dass der Komet Sonnenlicht zurückgeworfen hat. Meine Beobachtungen, namentlich die plötzlich am 2. October bemerkte, mit der Entstehung der sichtbaren Ausströmung verbundene Zunahme der Helligkeit des Kometen, und eine merkliche Abnahme derselben am 14. October machen dagegen wahrscheinlich, dass der Komet eigenes Licht entwickelt habe. Diese Beobachtungen haben in der That weder das Verdienst der Arago'schen, noch haben sie von der veränderlichen Durchsichtigkeit der Luft unabhängig gemacht werden können. Allein der Vereinigung beider steht nichts im Wege. Denn wenn der Komet auch ganz durch Sonnenlicht leuchtet, so kann doch nur ein kleiner Theil desselben polarisirt werden; daraus, dass man polarisirtes Licht an ihm wahrgenommen hat, folgt also nicht, dass der bei weitem grössere Theil seines Lichtes, welcher nicht polarisirt war oder sein konnte, allein zurückgeworfenes Licht ist. Er kann daher sowohl zurückgeworfenes, als auch eigenes Licht gezeigt haben.

Das, was ich bis jetzt über den Halley'schen Kometen mitgetheilt habe, ist das, was die Beobachtungen, so weit sie mir bis jetzt bekannt geworden sind, entweder unmittelbar ergeben haben, oder was ich daraus habe folgern können. Ich könnte meinem Aufsatze hier sein Ende geben; denn was ich noch hinzuzusetzen habe, ist nicht eigentlich nothwendig, sondern aus einem vielleicht nur mir fühlbaren Bedürfnisse hervorgegangen. Ich kann nicht läugnen, dass es mir Bedürfniss ist, den Zusammenhang bekannt gewordener Thatsachen zu suchen, und selbst da, wo die Beobachtungen uns verlassen, eine Möglichkeit ihrer Verbindung untereinander zu verfolgen. Was hieraus in dem gegenwärtigen Falle hervorgegangen ist, theile ich, ohne nach dieser Einleitung noch ein Missverständniss fürchten zu dürfen, mit. — Ohne Nutzen ist das Aussprechen von Ansichten übrigens nicht: es wird dadurch Etwas hingestellt, woran sich der Widerspruch, so wie die Bestätigung halten kann; ein durchgeführtes System erleichtert oder vervollständigt die ferneren Wahrnehmungen. Ich gestehe gern, dass die meinigen über den Halleyschen Kometen vollständiger ausgefallen sein würden, wenn ich in die Erscheinungen, welche er darbot, gleich anfangs einen Zusammenhang hätte bringen können.

Die Beschaffenheit des Kerns der Kometen verdient zuerst in Betrachtung gezogen zu werden, indem er die Quelle aller Erscheinungen ist, welche sie entwickeln. Die Massen der Kometenkerne scheinen, ver-

gleichungsweise mit der Masse der Planeten, äusserst klein zu sein; ihr nicht festes, mehr oder weniger durchsichtiges Ansehen lässt dieses wahrscheinlich erscheinen; auch weiss man, dass der Komet von 1770, welcher sehr nahe bei der Erde vorbeiging, dennoch aber ihre Bewegung nicht bemerkbar störte, eine so kleine Masse besitzt, dass sie nicht auf den fünftausendsten Theil der Erdmasse geschätzt werden kann. Trotz der wahrscheinlich äusserst geringen Menge körperlicher Materie, welche die Kometen enthalten, kann man sie aber nicht als aus einer gasartigen Flüssigkeit bestehend annehmen; wenigstens nicht aus einer solchen, deren Dichte verschwindet, wenn sie keinen Druck erleidet: denn eine Masse dieser Art würde sich nothwendig gänzlich zerstreuen. Auch scheint der Mangel einer Strahlenbrechung im Nebel des Kometen zu zeigen, dass nicht einmal dieser, geschweige denn der Kern, von welchem er ausgeht, eine gasartige Flüssigkeit ist. Indessen haben die Kerne der Kometen die Eigenschaft, sich leicht und in fast unbegreiflichem Masse zu verflüchtigen; ihre Oberflächen sind ohne bestimmte Grenzen, und scheinen daher in dem Zustande der Verflüchtigung begriffen zu sein; ihre Nebelhüllen und Schweife füllen Räume aus, welche unvergleichlich viel grösser sind als ihre Kerne, und welche dennoch augenscheinlich durch Materie gefüllt werden, welche aus den Kernen ausgeht, während sie sich in der Nähe der Sonne befinden. Dieses alles wird mit der mehr oder weniger festen Verbindung der Bestandtheile der Kometen, welche

ihre schwingende Bewegung fordert, vereinigt, wenn man sie als aus einer Masse von sehr lockeren Theilchen bestehend annimmt, welchen nur wenig an der Wärme fehlt, welche hinreichend ist, sie zu verflüchtigen. Nach dieser Ansicht wird die Verflüchtigung desto heftiger, je tiefer die Kometen zur Sonne herabkommen und je länger sie in ihrer Nähe verweilen. Dass diese Verflüchtigung selbst und der damit verbundene Verlust an wirksamer Wärme das Mittel werden kann, die Kometen vor gänzlicher Zerstreuung zu schützen, hat schon Laplace bemerkt.

Jede Wirkung eines Körpers auf einen anderen kann in zwei Theile zerlegt werden, deren einer für alle Theile des letzteren gleich ist, während der andere aus den Unterschieden der Wirkung auf verschiedene Theile entsteht. Diese beiden Wirkungen trennen sich in den Erfolgen, welche sie haben; die Anziehung der Erde durch die Sonne erzeugt z. B. durch ihre allen Theilen der Erde gemeinschaftliche Wirkung die Umlaufsbewegung derselben; der Unterschied der Anziehungen auf verschiedene Theile der Erde zeigt sich in den Erscheinungen der Ebbe und Flut und in der Vorrückung der Nachtgleichen. Je grösser die Entfernung der beiden Körper von einander ist, desto kleiner ist der zweite Theil der Wirkung, vergleichungsweise mit dem ersten. Dieses ist allgemein und findet also auch bei den Kometen seine Anwendung. Wenn ein Komet aus grosser Entfernung zu der Sonne herabkömmt, so muss die allen seinen Theilen gemeinschaftliche Wirkung der Sonne früher merklich wer-

den, als die zweite. Jene kann, weil sie allen Theilen gemeinschaftlich ist, keinem Theile des Kometen eine Eigenschaft mittheilen, welche sie allen andern nicht auch mittheilte; sie kann also auch nicht die Polarisirung erzeugen, welche wir an den Kometen bemerkt haben; aber sie kann eine Verflüchtigung der Masse des Kometen hervorbringen, welche sich an allen Punkten seiner Oberfläche zeigt und welcher vermuthlich die runden Nebelhüllen zuzuschreiben sind, von welchen wir die Kerne jedesmal umgeben sehen, wenn sie sich noch in weiten Entfernungen befinden. Ich nehme nun an, dass die flüchtig gewordenen Theilchen der Sonne feindlich polarisirt sind, dass also der Raum um den Kometen mit so polarisirter Materie gefüllt ist und fortwährend damit gefüllt wird. Später erst kann der zweite Theil der Wirkung der Sonne merklich werden; dieser allein kann die Polarisirung des Kerns des Kometen, wenn sie nicht ursprünglich vorhanden ist, erzeugen und die vorzugsweise Ausströmung nach der Sonne hervorbringen. Zeigen die Beobachtungen diese beiden Erscheinungen, wie bei dem Halley'schen Kometen der Fall war, so kann nicht geläugnet werden, dass eine Ausströmung, indem sie aus dem der Sonne zugewandten, also ihr freundlich polarisirten Theile der Oberfläche hervorgeht, auch dieselbe Polarisirung besitzt oder der Sonne freundlich ist und sich ihr folglich zu nähern sucht. Dass die ausgeströmten Theilchen dennoch von der Sonne zurückgestossen werden, wie die Beobachtungen ausser Zweifel setzen, erkläre ich

dadurch, dass der Raum, in welchem die Ausströmung stattfindet, schon mit der Sonne feindlich polarisirter Materie gefüllt ist, wodurch die entgegengesetzten Polaritäten sich ausgleichen und die ausströmenden Theilchen desto mehr von ihrer ursprünglichen Eigenschaft verlieren und desto mehr die entgegengesetzte annehmen, je weiter sie sich von dem Kerne des Kometen entfernen. In einer gewissen Entfernung von dem Kometen findet sich dann nur der Sonne feindlich polarisirte Materie, welche also die Abstossungskraft erfährt, welche die Beobachtungen gezeigt haben.

Durch diese Ansicht werden die verschiedenen Erscheinungen, welche ich an dem Kometen wahrgenommen habe, untereinander in Verbindung gebracht. Ich bin übrigens der Meinung, dass die Stärke der wirkenden Polarkraft von der Entfernung des Kometen von der Sonne abhängig ist; auch dass nicht angenommen werden darf, dass die vorzugsweise der Sonne zuströmende Materie genau dieselben Eigenschaften besitze, welche die von der Oberfläche des Kerns im Allgemeinen ausströmende besitzt. Specifische Unterschiede dieser Art haben sich an den Schweifen einiger Kometen gezeigt. Der Schweif des Kometen von 1769 hatte z. B. zwei verschiedene Schenkelpaare, Figur 6, welche aus der Theorie nur hervorgehen, wenn man der Ursache, durch welche ich oben ein Schenkelpaar, wie es der Komet von 1811 zeigte, erklärt habe, für verschiedene Theilchen zwei verschiedene Werthe beilegt. Der Komet von

1807 zeigte zwei Schweife, welche in gleicher Richtung von dem Kerne ausgingen, deren einer länger und gerader, der andere kürzer und stark gekrümmt war, Fig. 7; die Erklärung dieser Erscheinung fordert, dass man der Kraft, mit welcher die Sonne auf die den Kometen verlassenden Theilchen wirkt, für verschiedene Theilchen zwei verschiedene Werthe gebe.

Die allerauffallendste Form hat der Schweif des Kometen von 1824 gezeigt: er bestand aus zwei Theilen, deren einer der Sonne zu, der andere von ihr abgewandt war, Fig. 9. Diese Ausnahme von der allgemeinen Regel wird, der dargelegten Ansicht zufolge, möglich, wenn man annimmt, dass die Polarisirung des Kometen und die Ausströmung zu der Sonne sich eingefunden haben, während der den Kern umgebende, feindlich zur Sonne polarisirte Nebel noch nicht oder nicht in hinreichender Menge vorhanden war. In diesem Falle konnte die der Sonne freundliche Polarisirung nicht neutralisirt werden und die dieselbe besitzende Materie konnte eben so ungehindert zu der Sonne gehen, als die entgegengesetzte von ihr ab.

Ueber Flut und Ebbe.

Ich werde diesmal von der Flut und Ebbe reden, von dem nach bestimmten, wenn auch nicht sehr einfachen Regeln, wiederkehrenden Steigen und Fallen des Meerwassers; von einer Erscheinung, welche eine der überraschendsten unter denen ist, die aus der im Weltgebäude allgemein wirkenden Kraft hervorgehen; von einer Erscheinung, welche nicht nur durch ihre Erklärung Aufmerksamkeit verdient, sondern auch beträchtlichen Einfluss auf den Verkehr zwischen den verschiedenen, bewohnten Theilen der Erde hat und sogar die gegenwärtige Form des Festen und des Flüssigen auf der Oberfläche derselben grossentheils erzeugt hat, und, im Verlaufe künftiger Jahrtausende, noch beträchtlich ändern wird.

Unabhängig von dem Winde und dem zufälligen Anschwellen der sich in das Meer ergiessenden Ströme, fängt jetzt das Meer an, sich zu erheben; es steigt viele Fusse hoch, erhält sich einige Zeit auf dieser Höhe und fängt dann an zu fallen, bis es wieder seine anfängliche Höhe erlangt, von welcher

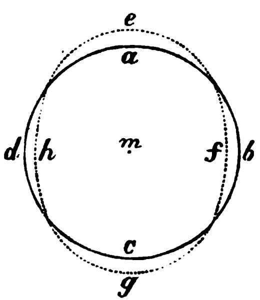
es eine neue ähnliche Bewegung anfängt und ohne Ende fortsetzt. Die Dauer jeder dieser Schwankungen des Meerwassers ist etwas länger als ein halber Tag, welchen sie bald mehr, bald weniger überschreitet; ihre Höhe erfährt gleichfalls beträchtliche Aenderungen. Die Erscheinung ist also nicht zu vergleichen mit den in gleichen Zwischenzeiten und in gleicher Stärke aufeinanderfolgenden Schlägen einer Pendeluhr; sie ist aber zu vergleichen mit den Pulsschlägen des lebenden Körpers, deren Zwischenzeit und Stärke gleichfalls Veränderungen erfährt. Es ist nicht zu verwundern, dass man, zu einer Zeit, welche die Erklärung der Flut und Ebbe noch nicht herbeigeführt hatte, ihren Mangel durch diese Vergleichung zu ersetzen suchte, und, um es nicht bei einem blossen Gleichnisse bewenden zu lassen, die Erscheinung sogar als ein Zeichen eines Lebens der Erde ansah. Allein eine gründlichere Naturlehre hat uns, seit Newton's grosser Zeit, von diesem Irrthume befreiet, indem sie gezeigt hat, dass Flut und Ebbe aus dem Gehorsam hervorgehen, welchen alles Körperliche, also auch das Flüssige auf der Erde, derselben Kraft leisten muss, welche die Himmelskörper in ihren Bahnen, so wie die Pendeluhren in ihrem Gange erhält. Sie hat gezeigt, dass die Erscheinung, nicht nur im Ganzen, sondern auch in allen ihren Veränderungen, dermassen der Rechnung folgt, dass man Jahrhunderte lang vorausbestimmen kann, wann, an einem gegebenen Tage, eine Flut eintreten, und bis zu welcher Höhe sie gelangen muss. Wenn das Ereigniss selbst mit dieser

Rechnung nicht übereinstimmt, so ist die Ursache des Fehlers nicht weit zu suchen: ein Sturm in der Nähe des Ortes, wo er sich zeigt, bringt ihn hervor, und über die Grenzen des Sturmes und seiner Einwirkung hinaus findet er nicht mehr statt. Die Newton'sche Naturlehre hat also Flut und Ebbe vollständig erklärt, oder, mit anderen Worten, sie von allem Wunderbaren entkleidet und sie in den Kreis des Nothwendigen zurückgeführt. Nur eine Erscheinung bleibt wunderbar dabei, und dies ist die Kraft der mathematischen Hülfsmittel, welche der menschliche Verstand zu seiner eigenen Verstärkung geschaffen hat, und durch deren Beistand es ihm möglich geworden ist, eine Reihe von Folgerungen in Verbindung zu setzen, die von den Bewegungen der Sonne und des Mondes, bis zu den Bewegungen des Meerwassers führen, und beide Wirkungen einer Ursache, so verschiedenartig sie auch hervortreten, so fest an diese zu knüpfen, dass man sogar Kenntnisse, welche auf die Beobachtungen und Rechnungen der Astronomen Einfluss haben, von den Massstäben ablesen kann, welche man in den Häfen angebracht hat, um daran die Wasserhöhen zu beobachten.

Die Verbindung zwischen der Anziehungskraft alles Körperlichen und der Flut und Ebbe ist es, über welche eine Uebersicht zu geben ich gegenwärtig versuchen werde. Diesem Versuche muss ich jedoch eine Darstellung der Erscheinung selbst vorangehen lassen. Auch ohne uns auf ihre Erklärung einzulassen, können wir, aus ihrem Vorhandensein selbst Fol-

gerungen ziehen, welche ich nicht übergehen zu dürfen glaube.

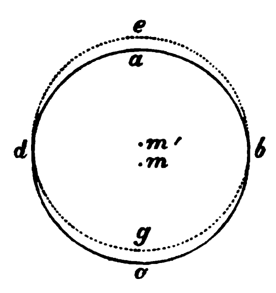
Die Flut und die Ebbe wechseln, da wo sie sich zeigen, in Zwischenzeiten von ungefähr $6\frac{1}{4}$ Stunden miteinander ab; sowohl von der Flut zur Ebbe, als auch von der Ebbe zur Flut verstreicht diese Zwischenzeit. Diese Erneuerung der ganzen Bewegung des Wassers in ungefähr $12\frac{1}{2}$ Stunden, kann als aus einer fortgehenden, drehenden Bewegung der dasselbe begrenzenden Oberfläche entstehend, angesehen werden. Denkt man sich einen Kreis, der durch einen Punkt der Oberfläche des Meeres, welcher sich in der mittleren Höhe desselben befindet, so gelegt ist, dass sein Mittelpunkt in die Drehungsaxe der Erde fällt und diese seine Ebene senkrecht durchschneidet, also den Kreis, welcher alle die Punkte der Erde miteinander verbindet, welche gleiche geographische Breite haben, so würde die Oberfläche des Meeres diesen Kreis allenthalben berühren, wenn sie ruhig wäre, und nicht von der Flut und Ebbe an der einen Stelle erhöhet, an der andern erniedrigt würde. Die beigedruckte Figur stellt diesen Kreis *a b c d* dar, seinen Mittelpunkt in *m*.



Die Oberfläche des Meeres erhebt sich über ihn, wo sie Flut hat, und senkt sich unter ihn, wo Ebbe vorhanden ist. Denkt man sich, um dieses darzustellen, eine andere, in der Ebene des Kreises beschriebene krumme Linie *e f g h*, welche sich in *e* und *g* über den Kreis erhebt, und sich in *f* und *h* unter ihn herabsenkt, und bis zu welcher die Oberfläche des Meeres reicht, so versinnlicht die Drehung dieser krummen Linie um den Mittelpunkt *m*, die Abwechselung der Erscheinungen. Drehet man sie in 25 Stunden einmal herum, so dass ihr Punkt *e*, welcher am Anfange über *a* liegt, in dem Viertel dieser Zeit über *b* anlangt, in der Hälfte über *c*, in Dreiviertel über *d*, in der ganzen Zeit über *a* u. s. w., so kommen ihre Punkte *h*, *g*, *f*, *e*, zu denselben Zeiten an dem Punkte *a* an, oder es treten hier, nach der Flut, von welcher ich die Aufzählung angefangen habe, Ebbe, Flut, Ebbe, Flut u. s. w. ein. Zugleich versinnlicht diese Darstellung, wie die eine dieser Erscheinungen nach und nach in die andere übergeht. Sie versinnlicht also den Hergang der ganzen Erscheinung an dem Punkte des Meeres, für welchen sie gemacht worden ist.

Man bemerkt ohne Mühe, dass dieser Hergang auch auf andere, von der vorigen wesentlich verschiedene Arten dargestellt werden kann, z. B. durch die Annahme einer kreisförmigen Figur des Durchschnittes der Oberfläche des Wassers *e b g d*, welche einen ausser der Erdaxe *m* liegenden Mittelpunkt *m'* hat, sich aber um die Erdaxe nicht wie vorher in

25 Stunden, sondern in der Hälfte dieser Zeit drehet.



Welche dieser verschiedenen Vorstellungsarten die dem wirklichen Verlaufe der Erscheinung entsprechende ist, kann durch die Wahrnehmnngen, welche man an einem Punkte des Meeres machen kann, offenbar nicht entschieden werden, weil alle diese Wahrnehmungen darstellen. Aber man kann sich darüber belehren, indem man gleichzeitige Wahrnehmungen an verschiedenen Punkten des Kreises *a b c d* zusammenstellt. Der ersten Vorstellungsart zufolge sind nämlich Flut und Ebbe gleichzeitig an entgegengesetzten Punkten dieses Kreises, wie *a*, *c* oder *b*, *d*; der zweiten Vorstellungsart zufolge ist an dem einen dieser Punkte Ebbe, wenn an dem entgegengesetzten Flut ist. Diese Zusammenstellung der Wahrnehmungen hat für die erste, also gegen jede andere Vorstellungsart entschieden, wesshalb wir nur jene weiter verfolgen wollen. Um indessen nicht zu viel zu behaupten, muss ich hinzufügen, dass ich hier nur von

dem grössten Theile der Erscheinung rede, also einen kleinern, wirklich von der ersten Vorstellungsart abweichenden, nicht berücksichtige.

Nachdem diese, wenigstens im Ganzen richtige Vorstellungsart, den Wechsel der Flut und Ebbe, nicht nur an einem bestimmten Punkte der Erde, sondern auch an allen Punkten des oft erwähnten Kreises, gezeigt hat, ist zur Kenntniss des Herganges der Erscheinung für die ganze Erde, noch erforderlich, dass man erfahre, in welcher Art Flut und Ebbe an den verschiedenen Punkten eines Meridianes derselben erscheinen. Die Beobachtungen haben hierüber gelehrt, dass dieses, im Ganzen, gleichzeitig geschieht, unter einem östlicheren Meridiane früher als unter einem westlicheren. Wodurch die Erscheinung im Einzelnen, von der Erscheinung im Ganzen verschieden ist, werde ich nicht unberührt lassen, für jetzt aber nur die letztere, also nicht sowohl den wahren, als einen, durch unterlassene Rücksicht auf kleinere oder grössere Abweichungen vereinfachten Hergang der Flut und Ebbe verfolgen. Denkt man sich durch jeden Punkt eines Meridians eine krumme Linie gelegt, welche der zuerst gezeichneten *e f g h*, wodurch der Hergang der Erscheinung für eine geographische Breite erläutert worden ist, ähnlich ist und welche ihre höchsten und tiefsten Punkte in denselben Meridianen hat, in welchen sie bei jener liegen; und denkt man sich ferner eine durch alle die Linien gehende, oder (nach dem Sprachgebrauche) sie einhüllende krumme Oberfläche, so stellt diese die Oberfläche des

Meerwassers auf der ganzen Erde, und ihre Drehung um die Erdaxe in 25 Stunden, den Wechsel der Flut und Ebbe, an allen Punkten derselben, im Ganzen dar.

Aus dieser Uebersicht über die Erscheinung geht hervor, dass die Oberfläche des Meeres in zwei entgegengesetzten Vierteln der Erde sich über die mittlere Höhe derselben erhebt, während sie sich in den beiden anderen, gleichfalls einander entgegengesetzten Vierteln, unter diese erniedrigt. Nach 6¼ Stunden erfahren jene beiden Viertel den niedrigeren, diese den höheren Stand des Meeres. Während dieser Zeit muss also eine Wassermasse von jenen in diese strömen, indem sie nun da vorhanden ist, wo sie früher nicht vorhanden war. Hieraus wird klar, dass der dargestellte Hergang der Erscheinung, wenn er auch auf einer, allenthalben von dem Meere bedeckten Erde, so vor sich gehen kann, wie ich ihn dargestellt habe, doch auf der wirklichen Erde, von deren Oberfläche nur Zweidrittel vom Meere bedeckt sind, beträchtliche Störungen erfahren muss. Denn das aus dem Meere hervorragende Land setzt sich dem Abströmen und Zuströmen des Wassers entgegen, verändert dadurch die Richtung und Schnelligkeit der Strömungen und verursacht also Verschiedenheiten der Bewegung des Wassers an verschiedenen Punkten, welche, ohne das Land, nicht vorhanden sein würden, und welche mir vorher die Veranlassung gegeben haben, zwischen dem Hergange der Erscheinung im Ganzen und im Einzelnen, der weit grösseren Einfachheit des ersteren wegen, zu unterscheiden.

Die Grösse der Oberfläche eines Viertels der Erde hat zur Folge, dass die zur Erzeugung der Flut und Ebbe erforderliche Strömung eine grosse Masse Wassers von dem einen Viertel in das andere bringen muss, auch wenn das Steigen und Fallen desselben nur wenige Fuss gross angenommen wird. Nimmt man die Erde als vom Meere ganz bedeckt an, ferner das Steigen des Meeres über den niedrigsten Punkt seiner Oberfläche, unter dem Aequator, auf drei Fuss und diese Veränderung, von dem Aequator zu den Polen, nach und nach, bis zum Verschwinden abnehmend, so findet man durch eine leichte Rechnung, dass jedes Viertel der Oberfläche, welches Flut hat, nahe an 100 Cubikmeilen mehr Wasser enthält, als jedes Ebbe besitzende Viertel; wenn der Wasserreichthum der verschiedenen Viertel sich nach 6¼ Stunden entgegengesetzt verhält, müssen also, während dieser Zeit, etwa 200 Cubikmeilen Wasser von dem einen in das andere übergegangen sein. Diese Rechnung mag als ein ohngefährer Ueberschlag über die Masse des Wassers, welche in 6¼ Stunden von einem Viertel der Erde in das andere übergeht gelten; sie ist der wirklichen Veränderung der Höhe seiner Oberfläche, da wo man sie an einzeln liegenden Inseln grosser Meere, also möglichst frei von den Einflüssen der Küsten, beobachtet hat, ziemlich angemessen; aber sie ist fehlerhaft in der Annahme, dass die ganze Oberfläche der Erde vom Meere bedeckt sei. Ich halte den schwierigen Versuch, die Richtigkeit dieser Schätzung weiter zu treiben, für unnütz, da ich von ihrem Re-

sultate keinen Gebrauch machen werde, sondern nur eine ohngefähre Uebersicht geben wollte, welche durch die Vergleichung der Grösse der bewegten Masse, mit der Kleinheit der Ursache der Bewegung, welche wir später kennen lernen werden, vielleicht einiges Interesse erlangt. Indem die Bewegung der Flut von Osten nach Westen fortgeht, strömt das Wasser des Meeres in derselben Richtung um die Erde. Man würde aber sehr irren, wenn man die Geschwindigkeit dieser Strömung für so gross halten wollte, wie sie sein würde, wenn sie den Umkreis der Erde in 25 Stunden durchliefe; sie ist in der That viel kleiner, da die Bewegung sich auf alles Wasser im Weltmeere vertheilt, dessen Masse sehr viel grösser ist, als die Zahl von Cubikmeilen, welche ich als eine Annäherung an die, von einem Viertel der Erde in das andere, überströmende Masse, angeführt habe. Uebrigens ist diese Masse viel zu gross um sie für anschaulich halten zu können: der Raumesinhalt der grössten der Aegyptischen Pyramiden ist etwa der millionste Theil einer Cubikmeile; und Alles, was die Kräfte der Menschen und die ihnen zu Gebote stehenden Mittel, von der Sündfluth bis jetzt, beträchtlich von der Stelle bewegt haben, misst vielleicht noch nicht eine Cubikmeile.

Das Meer hat, im Allgemeinen, eine Strömung von Osten nach Westen, und ein Theil derselben, vermuthlich der grössere, ist der Flut und Ebbe zuzuschreiben. Dass sich noch eine andere Ursache mit dieser vereinigt, wird durch die Thermometerbeobach-

tungen erwiesen, welche neuere Seefahrer in grossen Meerestiefen angestellt haben. Durch diese ist bekannt geworden, dass, selbst unter dem Aequator, in bedeutender Tiefe, Wasser vorhanden ist, dessen Wärme sich der Wärme nähert, in welcher das Eis zu schmelzen anfängt; eine fortwährende Strömung, welche von den Polargegenden ausgeht und dadurch unterhalten wird, dass kälteres und daher dichteres Wasser das wärmere und leichtere von dem Grunde des Meeres verdrängt und, so wie es selbst erwärmt wird und die Oberfläche verdunstet, neuem kalten Wasser seinen Platz einräumt, eine solche Strömung wird durch die angeführten Beobachtungen desto unzweideutiger erwiesen, je unvereinbarer sonst das Vorhandensein des kalten Wassers unter dem Aequator mit anderen Erfahrungen sein würde, welche keinen Zweifel darüber lassen, dass die Wärme des Erdkörpers mit der Tiefe zunimmt. Die Strömung des Meeres wird also nicht allein durch die Flut und Ebbe hervorgebracht; aber der Antheil, welchen diese daran haben, erfordert, dass ich sie nicht mit Stillschweigen übergehe. Das feste Land, welches sich der Strömung in den Weg setzt, hat den bedeutendsten Einfluss auf ihre Richtung und Schnelligkeit. Die Ostküste von Afrika z. B., welche ihr Fortschreiten von Osten nach Westen verhindert, zwingt sie, sich nach Südwesten zu wenden; nachdem sie das Vorgebirge der guten Hoffnung umgangen ist, wendet sie sich nördlich, um den Verlust zu ersetzen, welchen das Wasser, am stärksten unter dem Aequator, durch die nach Westen laufende Flut

erleidet; in Richtungen, welche sich, mit zunehmender Entfernung, der Richtung des Aequators näheren, geht sie auf das feste Land von Amerika zu, durch welches sie wiederum gehemmt und in zwei Ströme getheilt wird, deren einer die Südspitze von Amerika umgeht, während der andere, der sogenannte Golfstrom, in den Mexicanischen Meerbusen tritt, dann sich zwischen Florida und den Bahamainseln mit beträchtlicher Schnelligkeit hindurchdrängt, der Küste von Nordamerika folgt, und sich endlich durch den atlantischen Ocean, gegen Osten, sogar bis in unsere europäischen Meere bewegt. Wenn die Küsten, welche auf die Strömungen Einfluss haben, weniger ausgedehnt sind, als die eben genannten, sind auch ihre Wirkungen weniger umfangreich; im Allgemeinen aber erzeugt jede Landspitze und jede Bucht, durch den Raum, den sie der vorhandenen Strömung gewährt, ihre eigene Folge und ändert die allgemeine Ursache so vielfältig ab, dass die Strömungen des Meeres ein sehr mannigfaltiges Bild gewähren. Wer die Art von Leben kennen lernen will, welche sie auf dem Meere verbreiten, muss die Schilderung lesen, welche unser grosser Alexander von Humboldt davon entwirft, indem er die Fahrt durch das Atlantische Meer beschreibt, welche ihn und sein Wirken nach Amerika, und Amerika und Fortschritte in der Naturlehre der Erde, nach Europa brachte.

Indem die Strömungen auf Küsten treffen, lösen sie davon ab, was sie ablösen können; sie führen das Abgelöste mit sich fort, bis sie es, früher oder später,

fallen lassen: sie zerstören altes Land und setzen neues aus seinen Trümmern zusammen. Es ist wohl nicht anschaulich, dass eine felsenfeste Küste durch den Strom überwältigt werde; aber man kann nicht bezweifeln, dass kleines und loses Gestein, welches er an der Küste reibt, nicht nur sich selbst, sondern auch die Küste abschleift. Was nicht anschaulich ist, ist also nicht sowohl die Art der Wirkung des Stromes, als die Länge der Zeit, welche erforderlich ist, sie zu beträchtlicher Grösse anzuhäufen. Was indessen die Bewegungen des Wassers in dieser Beziehung schon geleistet haben, sieht man in der grossen Masse zerriebener Felsen, welche sich, als Sand, über die Erde verbreitet haben. Dass Flut und Ebbe die einzige Ursache dieser grossen Zerstörungen gewesen wäre, kann man allerdings nicht annehmen; dennoch wollte ich die gegenwärtige Gelegenheit nicht vorübergehen lassen, ohne zwar sehr langsamer, aber sich unaufhörlich zusammenhäufender und dadurch einen grossen Umfang erhaltender Folgen einer Erscheinung zu gedenken, deren in gewissen Perioden sich erneuernde Aeusserungen uns vorzüglich beschäftigen werden.

Ich habe schon an die Störungen erinnert, welche das aus dem Meere hervorragende Land in der Bewegung des Wassers hervorbringen muss, und werde jetzt noch anführen, von welcher Art die Einflüsse sind, welche es auf die Erscheinung der Flut und Ebbe, an einem gegebenen Punkte der Erde, äussert. Man kann leicht bemerken, dass sowohl die Zeit als

auch die H ö h e einer Flut oder Ebbe, dadurch geändert wird. Die erste Aenderung wird anschaulich, wenn man die Bewegung des Wassers eines sehr langen, sich in das Meer ausmündenden Kanals, in sofern sie durch die Flut und Ebbe hervorgebracht wird, verfolgt; offenbar tritt die erste dieser Erscheinungen zu derselben Zeit ein, zu welcher das Meer, an der Stelle der Mündung, sie erfährt; sie gebraucht aber eine gewisse Zeit, um, in der Form einer grossen Welle, nach einem vom Meere entfernten Punkte des Kanales zu gelangen, und diese Zeit vergrössert sich mit der Entfernung. Geht der Kanal von Osten nach Westen und hängt er an seinem westlichen Ende mit dem Meere zusammen, so pflanzt er die Flut und Ebbe in einer Richtung fort, welche geradezu g e g e n die Ordnung ihres Fortganges im freien Meere ist. So langt z. B. eine von dem Weltmeere ausgehende Flut an dem östlichen Ende des Brittischen Kanals etwa 6 Stunden später an, als sie in seine westliche Oeffnung eintritt; dagegen zeigt sich an allen Punkten der westlichen Küste von Irland und von Portugal, welche beide von Norden nach Süden gehen und von dem unbeschränkten atlantischen Ocean bespült werden, die Flut beinahe gleichzeitig. Kann sie von zwei verschiedenen Seiten an eine Küste gelangen, so wird ihre Erscheinung noch viel zusammengesetzter; dieses ist z. B. im Irländischen Meere der Fall, wohin sie sowohl südlich, als nördlich um Irland herum gelangt, und wo sich wirklich auffallende Unregelmässigkeiten im Fortschreiten der Erscheinung

von einem Punkte zum anderen zeigen. Alle diese Unregelmässigkeiten, welche die Unterbrechung der Bewegung des Wassers durch das Land verursacht, können nicht durch Rechnung gefunden werden, indem nicht Alles, was Einfluss darauf hat, bekannt ist, z. B. die Tiefe des Meeres an jeder Stelle; überdies würde die äusserste Schwierigkeit der Aufgabe, die Bewegung des Wassers durch sein gänzlich unregelmässig gestaltetes Bette zu verfolgen, der Rechnung unübersteigliche Hindernisse in den Weg legen. Die Zeit, welche zwischen der Ankunft der Flut an einem gegebenen Küstenpunkte und ihrem Erscheinen an demselben Punkte, wenn er frei im Meere läge, verstreicht, ist daher eine der Thatsachen, welche die für diesen Punkt zu erlangende allgemeine Kenntniss des Herganges der Erscheinung nur aus der unmittelbaren Beobachtung ziehen kann.

Dass die Küsten auch auf die Höhe der Flut Einfluss haben müssen, sieht man nicht weniger leicht ein. Wenn z. B. eine östliche Küste von Norden nach Süden streicht, so kann die sie treffende Flut ihre Bewegung nicht fortsetzen, sondern wird aufgehalten und gezwungen ihre Richtung zu verändern, was offenbar nicht geschehen kann, ohne dass ihre Höhe vergrössert wird. Ist die Küste nicht gerade, sondern ein Meerbusen, so muss das eindringende Wasser, ehe es wieder zum Abfliessen gelangt, grössere Hindernisse beseitigen, welche ihm durch die Ufer des Meerbusens und durch das ferner eindringende Wasser, welchem es mehr oder weniger gerade be-

gegnet, entgegengesetzt werden. Unter diesen Umständen kann die Flut sehr bedeutend vergrössert werden; die Bucht von St. Malo, zu welcher das Wasser von Westen her freien Zutritt hat, welche aber gegen Norden und Osten fast geschlossen ist, bietet ein Beispiel ungewöhnlich grosser Fluten dar, denn sie erheben sich hier bis auf 50 Fuss über den niedrigsten Stand des Meeres. In anderer Art zeigt sich die Verstärkung der allgemeinen Erscheinung an anderen Küsten, z. B. an denen von Norwegen, wo sie heftige Strudel, und unter diesen den vielbesprochenen Malström, zur Folge hat, von dem jedoch Leopold von Buch, in seiner Reise durch Norwegen und Lappland sagt, dass er nicht der gefürchtetste von allen ist. Diesem grossen Geologen zufolge, dessen Blick auf der Erde nicht weniger scharf ist als sein Blick in die Erde, sind die Norwegischen Strudel unzweifelhaft Folgen der Flut und Ebbe, deren Aeusserungen, durch die weitgestreckten Meerengen, durch welche sie sich hindurchdrängen müssen, bis zu den reissendsten Strömungen und selbst bis zu Wasserfällen verstärkt werden, und wenn diese auf Hindernisse ihrer Bewegung, oder auf entgegengesetzte Strömungen treffen, einen Aufruhr des Wassers erzeugen, von welchem Augenzeugen bekanntlich ein furchtbares Bild entwerfen. Aehnliche Ursachen hat die Erscheinung der Charybdis in der Meerenge von Messina; sie ist aber nur eine verkleinerte Darstellung des Norwegischen Malströms und würde, neben diesem, kaum erwähnt worden sein, wenn sie

nicht in lateinischen Büchern beschrieben wäre, deren Inhalt oft mit einem Maassstabe gemessen wird, welcher kleiner ist als der, den man an die gegenwärtig erlangten Kenntnisse der Natur, der Wissenschaften und oft auch der Ereignisse zu legen pflegt. Uebrigens würde auch der Strudel der Meerenge von Messina grossartiger erscheinen, wenn das Mittelländische Meer nicht sehr geringe Flut und Ebbe besässe, während diese in dem, die Küsten von Norwegen bespülenden Weltmeere in voller Grösse vorhanden ist. — Indem die Vergrösserungen der Bewegungen des Wassers, welche sich an den Küsten bald mehr bald weniger auffallend zeigen, die Folgen örtlicher Ursachen sind, und man diese in keinem Falle vollständig kennt, muss man nothwendig auch die Bestimmung des Maassstabes für die Fluthöhe an einem gegebenen Punkte der Erde als eine Thatsache betrachten, zu deren Kenntniss man nur durch unmittelbare Beobachtungen gelangen kann. Man muss also, wenn man zur allgemeinen Kenntniss aller Fluten und Ebben an einem gegebenen Punkte gelangen will, nicht nur, wie ich vorher bemerkt habe, für die Bestimmung ihrer Zeiten, sondern auch für die Bestimmung ihrer Höhen, das, was von örtlichen Einflüssen abhängt, durch Beobachtungen an diesem Punkte festsetzen.

Wir wollen nun den Fortgang der Erscheinung kennen lernen, so wie ihn lange fortgesetzte Beobachtungen, an Orten wo man aufmerksam darauf gewesen ist, ergeben haben. Der Unterschied der Höhen

der Flut und der Ebbe, welchen man die Fluthöhe nennt, bleibt nicht zu allen Zeiten gleich, sondern es zeigen sich darin sehr grosse Unterschiede, welche bis zur Verdreifachung und darüber gehen. Die geringste Aufmerksamkeit hat hingereicht, auf die Bemerkung zu führen, dass die grösseren Fluthöhen zu den Zeiten des Neumondes und des Vollmondes stattfinden, die geringeren zu den Zeiten des ersten und des letzten Viertels; jene also, wenn Sonne, Mond und Erde in einer geraden Linie stehen, diese, wenn der Winkel an der Erde, zwischen der Sonne und dem Monde, ein rechter Winkel ist. Fernere Aufmerksamkeit hat gezeigt, dass weder alle unter den ersten, noch alle unter den anderen Umständen vorkommenden Fluthöhen gleich bleiben; indem man aber die auch hier bemerkten Unterschiede mit den Ständen des Mondes und der Sonne verglichen hat, hat man bemerkt, dass geringere Entfernung des Mondes von der Erde und geringere Abweichung beider Gestirne von dem Aequator, die Fluthöhe vergrössern. Was die Erfahrung gegeben hat, ist also, dass die Fluthöhen zu den Zeiten des Neumondes und des Vollmondes grösser sind, als zu anderen Zeiten; dass sie eine ungewöhnliche Höhe erreichen, wenn eine dieser Zeiten mit der Zeit des Durchganges des Mondes durch den Punkt seiner Bahn zusammentrifft, welcher der Erde am nächsten ist; dass sie noch mehr vergrössert werden, wenn beides zur Zeit des Durchganges der Sonne durch den Aequator, oder zur Zeit der Frühjahrs- oder Herbstnachtgleiche, also im März

oder September, eintrifft. Das Zusammentreffen dieser Umstände, von welchen jeder, der Erfahrung gemäss, die Fluthöhe vergrössert, findet nicht häufig statt; ereignet es sich aber, so erlangt die Flut eine Höhe, welche ihre gewöhnlichen Grenzen beträchtlich überschreitet und oft die gegen das Meer aufgeführten Dämme unzulänglich gemacht hat.

Man hat aber auch die Zeiten der Wiederkehr der Erscheinung nicht unbemerkt gelassen und auch darin einen Zusammenhang mit den Bewegungen des Mondes und der Sonne erkannt. Im Ganzen folgen die Fluten zweier Tage so schnell aufeinander, wie die Wiederkehr des Mondes zu dem Meridian; allein sie entsprechen dieser einfachen Regel nicht genau, sondern ihre Zwischenzeit wird etwas kleiner, wenn der Mond neu oder voll ist, etwas grösser, wenn er halberleuchtet ist; auch andere Einflüsse des veränderlichen Standes beider Gestirne verrathen sich darin eben sowohl, wie sie sich in den Fluthöhen verrathen haben; allein ich glaube ihre vollständigere Aufzählung vermeiden zu müssen, zumal da ihre Vermischung miteinander es schwierig gemacht haben würde, sie durch die reine Beobachtung, von welcher jetzt allein die Rede ist, von einander zu trennen. Aus dem Angeführten geht hervor, dass die Fluten selbst dann schon in ungleichen Zwischenzeiten erscheinen würden, wenn sie auch den Wiederkehren des Mondes zu dem Meridiane genau folgten, zwischen welchen zwar im Ganzen 24 Stunden und 50 Minuten verstreichen, welche aber doch oft merklich schneller oder lang-

samer erfolgen, weil der Mond sich nicht gleichförmig in seiner Bahn bewegt und diese nicht senkrecht von der Drehungsaxe der Erde durchschnitten wird. Zu den hieraus hervorgehenden Ungleichheiten der Zwischenzeiten der Fluten, gesellen sich die anderen, vorher erwähnten. Die Seefahrer, welchen die Kenntniss der Zeit, wann eine Flut erscheinen wird, oft nothwendig ist, indem sie entweder die sie begleitende Strömung benutzen, oder die Zeit des Einlaufens in einen zur Zeit der Ebbe durch eine vorliegende Barre verschlossenen Hafen danach wählen müssen, fordern, zur Erreichung ihrer Zwecke, keine grosse Genauigkeit und reichen daher mit einer Kenntniss der Flutzeit aus, welche ihre kleineren Ungleichheiten nicht berücksichtigt. Wenn daher durch einmalige Beobachtung bekannt geworden ist, wie viele Stunden und Minuten nach dem ihm zunächst vorhergehenden Durchgange des Mondes durch den Meridian, eine Flut an einem bestimmten Punkte der Küste eingetreten ist, so wird die Hinzufügung derselben Anzahl von Stunden und Minuten zu der Zeit des Durchganges des Mondes durch den Meridian an jedem anderen Tage, die Zeit des Eintretens der Flut für diesen Tag mit der für das Bedürfniss der Schifffahrt erforderlichen Genauigkeit, ergeben. Diese Berechnung derselben ist sehr leicht, da die Durchgangszeit des Mondes durch den Meridian in den Kalendern vorausberechnet ist, und die ihr hinzuzusetzende Anzahl von Stunden und Minuten für die Häfen der besuchteren Küsten

schon bekannt, und, unter der Benennung der Hafenzeit, in den Handbüchern verzeichnet ist, deren die Seefahrer sich bedienen.

Ein ferneres Resultat der Erfahrung ist, dass Flut und Ebbe sich nur in dem Weltmeere in beträchtlicher Grösse zeigen, in eingeschlossenen Meeren aber kaum oder gar nicht merklich sind. Das mittelländische Meer hat z. B. in der Gegend von Toulon nur einen Fuss Fluthöhe, im adriatischen Meerbusen aber eine grössere, welches dem tiefen Eindringen dieses Meerbusens in das Land, der vorher schon angeführten, vergrössernden Wirkung solcher Oertlichkeiten gemäss, zuzuschreiben ist. Dass man in der Ostsee eine unzweideutige Spur von Flut und Ebbe bemerkt hätte, ist mir nicht bekannt; *) jedenfalls ist sie hier so klein, dass es schwer sein würde, sie durch die Unregelmässigkeiten hindurch zu erkennen, welche die Veränderung der Richtung und der Stärke des Windes in den Wasserständen hervorbringt.

Ich glaube jetzt von dem Hergange der Flut und Ebbe so viel angeführt zu haben, als ich, ohne Zahlenangaben, von einer Erscheinung anführen durfte, welche nur durch diese vollständig bekannt werden kann. Um sie genauer kennen zu lernen, hat man in dem Wasser verschiedener Häfen in Frankreich und England eigene Thürme erbauet, in deren Innerem man sie mit Ruhe und Sicherheit beobachten

---

*) Es werden an einigen Stellen der Dänischen Inseln Spuren davon bemerkt. S.

kann. Die hier gesammelten, verhältnissmässig genauen Beobachtungen, sind es, die der gegebenen Darstellung zum Grunde liegen. Sie lehren nicht nur die erwähnten örtlichen Einflüsse der Küsten, an welchen sie gemacht worden sind, kennen; sie dienen auch zur Grundlage der Folgerungen, welche auf das verschiedene Hervortreten der Erscheinung, bei verschiedenen Ständen des Mondes und der Sonne, gebauet werden können; sie sind endlich geeignet, jeden Zweifel zu zerstreuen, welcher gegen die Richtigkeit einer, der Newton'schen Naturlehre angemessenen Theorie derselben erhoben werden mögte. Die Einrichtung dieser Observatorien für die Flut und Ebbe gewährt also einem merkwürdigen Theile der Lehre vom Weltgebäude eine besondere Stütze und trägt dadurch zur Befestigung des Ganzen bei. Von jenem Theile werde ich jetzt die Grundzüge darzustellen suchen.

Das Wesen der Newton'schen Naturlehre, mit der wir jetzt zu thun haben werden, besteht darin, dass sie die Erscheinungen nicht als für sich bestehende Thatsachen betrachtet, sondern die allgemeineren Ursachen aufsucht, deren Folgen die Erscheinungen sind; und, wenn die Ursachen gefunden sind, die Verbindung der Erscheinungen mit ihnen, durch reines, d. h. mathematisches Raisonnement verfolgt. Hierdurch wird die Erkenntniss der Natur auf die kleinste Zahl der Thatsachen zurückgebracht; die Erklärnng der Erscheinungen durch diese wird voll-

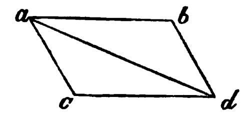
ständig und kann selbst die Grenze überschreiten, innerhalb welcher die Beobachtung die Erscheinungen kennen gelehrt hat. Indem Newton diesen Weg einschlug und die Ursachen der Bewegung der Himmelskörper aufsuchte, gelangte er zu der Entdeckung der allgemeinen Schwere, des Bestrebens jedes körperlichen Punktes, alle übrigen körperlichen Punkte zu sich zu ziehen. Hiervon ist auch die Flut und Ebbe eine Folge; wenn es gelungen ist, ihren Zusammenhang mit dieser Ursache vollständig zu erkennen, wird die Uebereinstimmung der aus dieser Erkenntniss folgenden Erscheinungen, mit denen welche die Beobachtung kennen lehrt, eine neue Bestätigung der Ursache gewähren. — Um diesen Zusammenhang übersehen zu können, muss man sich an die ersten Gründe der Lehre von den Kräften und der Bewegung erinnern; der Wunsch, ihn allen meinen Zuhörern zugänglich zu machen, muss mich entschuldigen, wenn ich, auf die Gefahr Vielen etwas Bekanntes zu sagen, einer kurzen Darstellung dieser ersten Gründe hier eine Stelle einräume.

Eine Kraft äussert sich in dem Bestreben der körperlichen Punkte, auf welche sie wirkt, ihren Ort zu verändern; ihre Richtung ist die, in welcher die Aenderung des Ortes eines freien, Anfangs in dem Zustande der Ruhe befindlichen Punktes vor sich geht; ihre Stärke ist der Grösse der Veränderung in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Secunde, verhältnissmässig. Das Dasein der Kräfte in der Natur ist eben so gewiss als es wunderbar erscheint;

wir sehen es auf der Erde überall, im Fallen des Regens, so wie im Aufsteigen der Dämpfe, welche ihn erzeugen; in der Bewegung jedes nicht festgehaltenen oder unterstützten Körpers, so wie in der Bahn, welche ein geworfener beschreibt, wir sehen es im Laufe der Planeten und Kometen. Fragen wir aber nach der letzten Ursache der Kräfte, nach der Ursache, welche zwei entfernten, durch kein materielles Band miteinander verbundenen Körpern die Fähigkeit ertheilt, gegenseitige Bewegungen hervorzubringen, so befinden wir uns an der Grenze menschlicher Erkenntniss und erhalten also keine Antwort; für uns ist das Dasein der Kräfte eine Thatsache, eine wesentliche Eigenschaft alles Körperlichen, deren entferntere Ursache gleichgültig bleibt, wenn es sich um die Erklärnng, nicht dieser Thatsache selbst, sondern der daraus hervorgehenden Erscheinungen, handelt.

Wenn also eine Kraft auf einen ruhenden körperlichen Punkt wirkt, der sich in jeder Richtung frei bewegen kann, so bewegt sie ihn in ihrer Richtung durch einen Raum, welcher ihrer Stärke verhältnissmässig ist. Wirkt noch eine zweite Kraft in derselben Richtung, so vereinigt sich die Bewegung, welche sie allein erzeugen würde, mit der vorigen und es tritt nun die Summe beider hervor. Wirkt sie aber in einer anderen Richtung, so zeigt sich, indem der Punkt sich nicht in zwei Richtungen zugleich bewegen kann, eine aus beiden Wirkungen zusammengesetzte Bewegung, oder beide Kräfte ver-

einigen sich zu einer neuen, deren Wirkung diese Bewegung ist: treibt ihn die erste Kraft, in einer



gewissen Zeit von *a* nach *b*, die zweite von *a* nach *c*, so gelangt er, indem er beiden folgt, nach *d*, nach dem Punkte nämlich, welcher von *c* so weit entfernt ist als die erste Kraft, von *b* so weit als die zweite ihn treibt; oder aus der gemeinschaftlichen Wirkung beider Kräfte entsteht eine zusammengesetzte Kraft, deren Richtung und Stärke durch die Linie *a d* dargestellt wird, wenn die Linien *a b* und *a c* beides für die einzelnen, zugleich wirkenden Kräfte darstellen. Das hier von der Zusammensetzung der Kräfte angeführte, gilt offenbar auch von Bewegungen, aus welcher Ursache sie auch entstanden sein mögen: hätte der Punkt z. B. eine anfängliche Bewegung, welche ihn in der Zeit, auf welche sich die Darstellung bezieht, durch *a b* führt, und erführe er, während er dieser zu folgen sucht, die Einwirkung einer Kraft, welche ihn, wenn sie allein wirkte, durch *a c* führen würde, so gelangt er wirklich eben sowohl nach dem Punkte *d*, als er dahin gelangt, wenn beide Bewegungen aus Kräften hervorgehen. — Umgekehrt folgt aus dem Angeführten, dass wenn der Punkt wirklich von *a* nach *d* gelangt ist, eine bekannte (gleichviel ob aus einer Kraft hervorgegangene oder anfängliche) Bewegung ihn aber

von *a* nach *b* hätte führen müssen, er während dieser Bewegung noch einer Kraft ausgesetzt gewesen ist, welche ihn für sich selbst von *a* nach *c* geführt haben würde. — Indem zwei Bewegungen oder Kräfte sich in eine zusammensetzen, so kann auch eine durch zwei andere, deren Richtungen gegeben sind, ersetzt werden; z. B. wenn die Richtungen der beiden gesuchten *a b* und *a c* sind, die gegebene Bewegung, oder Kraft, *a d* ist, so führen zwei, von *d* aus, parallel mit *c a* und *b a* gezogene Linien, auf die Punkte *b* und *c* dieser Richtungen, wodurch die beiden Kräfte gefunden sind, deren gemeinschaftliche Wirkung in den Richtungen *a b* und *a c* die Bewegung *a d* erzeugt.

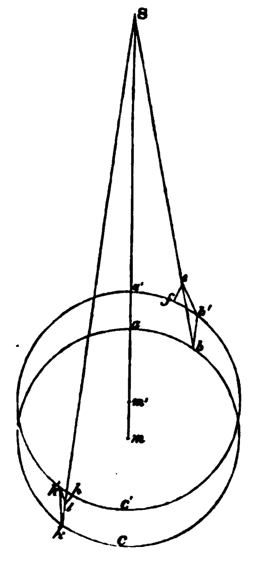
Ausser diesen ersten Begriffen von den Kräften und der Bewegung, muss ich noch einer Eigenschaft der Flüssigkeiten gedenken, welche bei der Erklärung der Flut und Ebbe gleichfalls als bekannt vorausgesetzt werden muss. Der Unterschied zwischen einer Flüssigkeit und einer Anhäufung fester körperlicher Theile besteht allein in der Reibung, womit sich die letzteren jeder gegenseitigen Bewegung widersetzen, während die Theile der ersteren unfähig sind, auch nur den kleinsten Widerstand dieser Art zu leisten. Eine Flüssigkeit in einer Schale der Ruhe überlassen, nimmt ohne weiteres Zuthun eine ebene und horizontale Oberfläche an; Sand oder Schrotkörner ändern, wenn sie in die Schale geschüttet werden, Unebenheiten ihrer gemeinschaftlichen Oberfläche, oder Abweichungen derselben von der horizontalen Ebene nur dann, wenn diese zu gross sind, um durch den

Widerstand, welchen die Reibung der Aenderung entgegensetzt, verhindert werden zu können. Aus der vollkommenen Beweglichkeit der Theilchen einer Flüssigkeit untereinander folgt, dass eine flüssige Masse nur dann in Ruhe sein und bleiben kann, wenn jede beliebige Durchschnittsfläche derselben von beiden Seiten gleichen Druck erfährt; denn wenn die kleinste Verschiedenheit desselben vorhanden wäre, so würde die vollkommene Beweglichkeit der Theilchen untereinander eine Bewegung nach der Seite des geringeren Druckes hin nicht verhindern. Wenn diese Gleichheit des Druckes durch irgend eine Ursache gestört wird, so muss die flüssige Masse in Bewegung gerathen und kann erst dann wieder zur Ruhe gelangen, wenn sie Aenderungen der Form erfahren hat, welche den Druck von der einen Seite eben so verändern, als er auf der anderen, durch die eingetretene Störung, verändert worden ist.

Wir können nun die Folgen der Anziehung betrachten, welche jedes körperliche Theilchen der Erde von einem entfernten Körper, beispielsweise von der Sonne, erfährt. Einem anziehenden Körper nähere Punkte erfahren eine grössere Anziehung als entferntere; die der Sonne näheren und die von ihr entfernteren Theilchen der Erde erfahren also verschiedene Anziehungen, welche, wenn diese Theilchen keine Verbindung untereinander besässen, veranlassen würden, dass die näheren stärker, die entfernteren schwächer zur Sonne fallen, also sich von einander trennen würden. Diese Trennung entsteht aber nicht,

weil eine, sich ihr widersetzende Verbindung unter den Theilchen vorhanden ist. Wir wollen zuerst die Verbindung unter den nichtflüssigen Theilchen betrachten, welche entweder in festem Zusammenhange derselben besteht, oder durch die ihnen gemeinschaftliche Anziehungskraft gegeneinander hervorgebracht wird, von welcher die Folge ist, dass jedes Theilchen seinen Ort da einnimmt, wo es durch andere Theilchen gehindert wird, der aus den Anziehungskräften aller übrigen hervorgehenden Bewegung weiter zu folgen. In beiden Fällen kann die Verschiedenheit der Anziehungen der Sonne, welche nähere und entferntere Theilchen erfahren, keine Veränderung ihrer gegenseitigen Lage hervorbringen; im ersten nicht, weil sich ihr die feste Verbindung widersetzt; im anderen nicht, weil die Reibung unter den Theilchen unvergleichlich viel zu stark ist, als dass sie durch den kleinen Unterschied der Anziehungen der Sonne auf nähere und entferntere, überwunden werden könnte. Alle nichtflüssigen Theile der Erde behalten also, trotz dieses Unterschiedes, ihre gegenseitige Lage ungeändert bei. Der Unterschied muss sich so ausgleichen, dass alle mit einer Geschwindigkeit zur Sonne fallen, mit der Geschwindigkeit nämlich, welche die mittlere zwischen den grösseren und kleineren Fallgeschwindigkeiten der näheren und entfernteren Theilchen, und dieselbe ist, die ein, die mittlere Entfernung besitzender Punkt der Erde, ihr Mittelpunkt, für sich allein annehmen würde. Die ganze nichtflüssige Erde fällt also, in jedem Augenblicke, eben

so schnell zur Sonne, wie die Anziehung erfordert, die ihr Mittelpunkt von dieser erfährt. Wie dieses Fallen zur Beschreibung der krummlinichten Bahn der Erde um die Sonne verwandt wird, geht aus dem hervor, was früher über die Zusammensetzung einer vorhandenen Bewegung mit einer dazukommenden Kraft, angeführt worden ist: es erzeugt nämlich in jedem Augenblicke eine Ablenkung von der Richtung, in welcher die Erde sich im vorigen Augenblicke bewegte, also unausgesetzt eine Krümmung derselben zur Sonne. Obgleich die Erde, aus dieser Ursache, nie in die Sonne fallen kann, so ist nichts desto weniger ihr wirkliches Fallen zu derselben, in jedem Augenblicke, offenbar, es folgt sogar eben sowohl aus der bekannt angenommenen krummlinichten Bewegung, als diese aus der Nothwendigkeit des Fallens folgt.



Anders verhält es sich mit den **flüssigen** Theilen der Erde, indem Veränderungen ihrer gegenseitigen Lage nicht durch Reibung ihrer Theilchen aneinander verhindert werden. Um deutlich zeigen zu können, welche Folgen die Anziehung der Sonne auf diese Theilchen hervorbringt, muss ich wieder bitten, mir durch eine Figur zu folgen. Die Oberfläche des die Erde umgebenden Meeres wird durch den Kreis *a b c*

dargestellt, ihr Mittelpunkt durch *m*, die Sonne durch *S*. Ein an dem Punkte *b* befindliches Theilchen des Meeres wird, durch die Sonne, nach *b S* gezogen und es würde, wenn es vollkommen frei wäre, in einer gewissen Zeit, z. B. in einer Secunde, den Weg *b e* durchlaufen, oder die anziehende Kraft, welche es von der Sonne erfährt, wird, in ihrer Richtung und Grösse, durch *b e* dargestellt. Die ganze Erde fällt aber, während dieser Zeit, wirklich zur Sonne, und zwar durch einen Raum, welcher nicht so gross oder grösser ist als der, den das Theilchen zu durchlaufen sucht, je nachdem dieses näher bei der Sonne oder entfernter von ihr ist als der Mittelpunkt der Erde; der erstere dieser Fälle ist der in der Figur dargestellte. Vermöge dieser Bewegung gelangt sie an die Stelle, welcher der zweite Kreis *a' b' c'* darstellt, ihr Mittelpunkt nach *m'*, *b* nach *b'*. Dieser letzte Punkt ist aber nicht der Punkt *e*, wohin die Anziehungskraft der Sonne das flüssige Theilchen zu bringen strebt; durch die Bewegung der ganzen Erde wird also diesem Bestreben nicht vollständig Genüge geleistet, sondern es bleibt davon das Bestreben des Theilchens, sich von *b'* nach *e* zn bewegen, übrig, oder es bleibt eine durch *b' e* dargestellte Kraft übrig, welche das Theilchen, beziehungsweise auf die Erde selbst, zu bewegen, oder seinen Ort auf ihr zu verändern sucht. Diese Kraft kann als die zusammengesetzte zweier Kräfte angesehen werden, deren eine das Theilchen in der Richtung der Oberfläche, die andere in der darauf senkrechten Richtung zu bewegen sucht, welche

Kräfte durch $b'f$ und fe dargestellt werden. Man sieht also, dass die Anziehung der Sonne allen, sich auf der der Sonne zugewandten Seite der Erde befindlichen Theilchen zwei Bestrebungen ertheilt; nämlich das Bestreben, sich auf den Punkt a' zu zu bewegen, welcher die Sonne senkrecht über sich hat, und ferner das Bestreben, sich von dem Mittelpunkte m' der Erde zu entfernen.

Es ist wesentlich, dass wir auch die andere Seite der Erde betrachten, die Seite nämlich, welche entfernter von der Sonne ist als der Mittelpunkt der Erde, auf welcher die Anziehung also schwächer ist als die, die der Mittelpunkt erfährt. Hierauf bezieht sich der links liegende Theil der Figur. Der Raum, welchen das Theilchen k durchlaufen würde, wenn es frei wäre, wird durch $k\,l$ dargestellt; der grössere Raum, durch welchen es, mit der ganzen Erde zugleich, geführt wird, durch $k\,k'$; das ihm dadurch übrig gelassene Bestreben also durch $k'\,l$ und die ihm gleichgeltenden beiden Kräfte durch $k\,h$ und $h\,l$. Man sieht hieraus, dass alle auf der von der Sonne abgewandten Seite der Erde befindlichen Theilchen durch die Anziehung der Sonne die Bestrebungen erhalten, sich auf den Punkt c' zu zu bewegen, welcher von der Sonne gerade abgewandt ist, und ferner, sich von dem Mittelpunkte m' der Erde zu entfernen. Die Theilchen des Meeres auf der der Sonne zugewandten Seite der Erde suchen sich also nach dem Punkte a', die auf der von ihr abgewandten nach dem Punkte c' zu bewegen; auf beiden Seiten suchen

sie sich von dem Mittelpunkte der Erde zu entfernen.

Wenn man sich nun die Anziehung der Sonne als nicht vorhanden, und daher die Oberfläche des Meeres in der Figur denkt, in welcher sie, vermöge der Anziehungen der Erde allein, in Ruhe sein und bleiben kann, so wird offenbar, dass das Hinzukommen der Anziehung der Sonne diese Figur verändern muss, und dass sie erst wieder in Ruhe kommen kann, wenn sie diese Veränderung erfahren hat. Um uns eine deutliche Vorstellung von dieser veränderten Figur zu machen, können wir von der Bemerkung ausgehen, dass, wenn das Wasser des Meeres in Ruhe ist, dieses auch von jedem Theile desselben gilt, z. B. von dem sich innerhalb einer Röhre befindlichen, deren beide, aufwärts gekrümmte Enden über die Oberfläche des Meeres hervorragen, während sie selbst sich unter dieser Oberfläche befindet; das Wasser steht dann in beiden Enden der Röhre eben so hoch, als an den Stellen des Meeres, an welchen sie sich befinden. Denken wir uns eine solche Röhre, deren eines Ende sich an dem Punkte a', das andere an dem Punkte b' befindet, so erfährt das Wasser in ihr die Entwicklung verschiedener Kräfte, welche ich nun aufzählen werde. Zuerst erfährt es die Kraft, welche jedes seiner Theilchen nach dem Mittelpunkte der Erde zu ziehen strebt; also die Kraft, deren Folge der zuerst gedachte Zustand der Oberfläche des Meeres ist; ferner erfährt es, durch die Anziehung der Sonne, Kräfte, welche jedes seiner Theil-

chen, auf den Punkt a' zu, zu bewegen streben, vermöge welcher jedes seiner Theilchen also einen Druck auf das vor ihm (nach a' hin) liegende ausübt; endlich erfährt es, durch dieselbe Ursache, Kräfte, welche jedes seiner Theilchen von dem Mittelpunkte der Erde zu entfernen streben, welche also der ersten Ursache entgegenwirken, oder ihre Wirkung vermindern. Von den zuletzt erwähnten Kräften lehrt ein Blick auf die Figur, dass sie desto grösser werden, je näher bei dem Punkte a' sich die Theilchen befinden, welche ihnen ausgesetzt sind. Die aus der Anziehung der Sonne hervorgehenden Kräfte werden nun verwandt, die Höhen des Wassers in den Enden der Röhre aus dem Zustande zu bringen, in welchem sie sich, vermöge der ersten Ursache allein, befinden würden: der zuerst erwähnte Druck eines Wassertheilchens auf das ihm vorangehende, hat zur Folge, dass ein vor ihm liegender Durchschnitt der Röhre von b' her stärker gedrückt wird als von a' her; was nur ausgeglichen, oder mit der Ruhe des Wassers in der Röhre vereinbart werden kann, wenn seine Oberfläche sich an dem Ende b' senkt und an dem Ende a' steigt, um soviel, als gerade hinreichend ist, den Druck von der einen Seite so zu vermindern und von der anderen so zu vermehren, dass durch den Unterschied das Bestreben des Wassertheilchens, sich nach a' zu bewegen, vernichtet wird. Indem aber jedes Wassertheilchen in der Röhre, auf diese Art, Ursache einer Erhebung der Oberfläche im Ende a' über die Oberfläche im Ende b' wird, wird die aus allen hervor-

gehende Erhebung die Summe aller einzelnen, und um so viel als diese Summe beträgt, muss das Wasser wirklich seine Oberfläche verändern. Zu dieser Veränderung gesellt sich eine andere, welche aus der zuletzt betrachteten Wirkung der Sonne hervorgeht, nämlich aus der Verminderung der Anziehung der Erde auf die Wassertheilchen, welche aus der Anziehung der Sonne entsteht und an dem Punkte *a'* am stärksten ist; indem nämlich das Wasser in den aufrecht stehenden Enden der Röhre, aus dieser Ursache, an dem Ende *a'* mit geringerer Kraft nach dem Mittelpunkte der Erde gezogen wird, als an dem Ende *b'*, verursachen gleich hohe Wassersäulen an beiden Enden, nicht gleichen Druck auf ihre Grundflächen, am Ende *a'* einen schwächeren, am Ende *b'* einen stärkeren; damit Ruhe im Wasser der Röhre möglich werde, muss also in jenem eine höhere, in diesem eine niedrigere Wassersäule vorhanden sein, oder das Wasser muss, auch aus dieser Ursache, in dem ersteren steigen. Genau dieselben Betrachtungen gelten offenbar auch von der von der Sonne abgewandten Seite der Erde, mit dem einzigen Unterschiede, dass hier der von der Sonne entfernteste Punkt *c'* es ist, an welchem das Wasser seine grösste Höhe erhält.

Es ist nun klar geworden, dass die Anziehungskraft der Sonne das Wasser des Meeres in jedem Augenblicke veranlasst, den beiden Punkten zuzuströmen, deren einer der Sonne gerade zugewandt, der andere gerade von ihr abgewandt ist. Dieses ist

die **Grundlage** der Erklärung der Flut und Ebbe, insofern diese von der **Sonne** herrührt. Die Erklärung selbst erlangt man, wenn man diese Strömung des Wassers verfolgt und ihre endliche Wirkung auf die Figur der Oberfläche und die Bewegung derselben aufsucht. Die beiden Punkte, auf welche die Bewegung in jedem Augenblicke zugeht, ändern ihren Ort auf der Erde von Augenblick zu Augenblick, indem sie sich immer in der die Sonne und den Mittelpunkt der Erde verbindenden geraden Linie befinden, und also, durch die Drehung der Erde um ihre Axe, von Osten nach Westen geführt werden, so dass sie in einem Sonnentage ihren Umlauf vollenden. In dieser Verfolgung der nach veränderlichen Punkten gerichteten Bewegung des Wassers liegt die eigentliche Schwierigkeit der Aufgabe, welche so gross ist, dass selbst **Newton** sie nicht aus dem Wege räumen konnte; auch gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts, als die Pariser Akademie der Wissenschaften die Geometer durch einen auf die Theorie der Flut und Ebbe gesetzten Preis zu ihrer Ueberwindung aufforderte, wurde sie nicht überwunden; und erst nachdem **Laplace** die mathematische Analyse, in einer hier in Anwendung kommenden Beziehung, wesentlich vervollkommnet hatte, gelang es diesem grossen Geometer, die Schwierigkeit unter einer Bedingung zu überwinden, welche glücklicherweise durch das die Erde umgebende Meer erfüllt wird. Diese Bedingung, unter welcher **Laplace** die Untersuchung bis zu ihrem Ende fortführen konnte, ist, dass die

Tiefe des Meeres nur ein kleiner Theil des (bekanntlich 860 Meilen grossen) Halbmessers der Erde sei. Ich kann nicht unternehmen, meine Zuhörer durch diese dornenreichen Untersuchungen hindurchzuführen, muss mich also begnügen, ihre, ihr Ende verständlich machende, Grundlage auseinandergesetzt zu haben, und die hauptsächlichsten Resultate anzuführen, welche Laplace durch ihre Verfolgung erhalten hat. Er hat gefunden, dass eine durch die Sonne erzeugte Flut an einem Punkte der Erde zu einer Tageszeit anlangt, deren Bestimmung von der (fehlenden) Kenntniss der Tiefe des Meeres an allen Punkten und von der Gestaltung der Küsten abhängt, also sich in der Wirklichkeit der Rechnung entzieht; wäre die Tiefe des Meeres allenthalben gleich, bedeckte es die Erde ohne Unterbrechung durch Land, und erführe die Bewegung seines Wassers keinen Widerstand auf seinem Grunde, so würde das Eintreten dieser Flut mit den Augenblicken zusammenfallen, in welchen die Sonne durch den Meridian geht, also mit dem Mittage und mit der Mitternacht; die Verschiedenheiten der Wirklichkeit von dieser Annahme, erzeugen Verzögerungen der Fluten, so wie man sie wirklich beobachtet. Laplace hat ferner den Einfluss vollständig entwickelt, welchen Veränderungen des Ortes und der Entfernung der Sonne auf die Eintrittszeiten der Flut äussern. Er hat endlich gezeigt, in welchem Verhältnisse diese Veränderungen die Fluthöhen ändern.

Ehe ich weiter gehe, erlaube ich mir eine Bemerkung über die Grösse der Ursache, welche, der

früheren Auseinandersetzung gemäss, Flut und Ebbe zur Folge hat. Ich habe bisher nur die Art der Wirkung, nicht diese Grösse, betrachtet, und werde daher jetzt untersuchen, wieviel der Unterschied der Anziehungen beträgt, welche die Sonne auf den Mittelpunkt der Erde und auf einen der beiden, gerade zu und von ihr gewandten Punkte äussert, welcher Unterschied, wie wir gesehen haben, die einzige Ursache der Erscheinung ist. Die anziehende Kraft der Sonne wirkt, wie alle anziehenden Kräfte, desto schwächer, je weiter die Entfernung ist, in welcher sie wirkt; in einer doppelten Entfernung ist sie nur ein Viertel so gross, als in der einfachen; allgemein ist ihre Stärke in zwei verschiedenen Entfernungen, einer kleineren und einer grösseren, in demselben Verhältnisse, in welchem die Oberfläche der mit der grösseren Entfernung beschriebenen Kugel zu der Oberfläche der mit der kleineren beschrieben ist. Legt man also zwei Kugeln, deren Mittelpunkt die Sonne ist, die eine durch den Mittelpunkt der Erde, die andere durch den der Sonne nächsten Punkt derselben, so ist das Verhältniss ihrer Oberflächen das Verhältniss der Kräfte, womit die Sonne den ihr nächsten Punkt und den Mittelpunkt der Erde anzieht. Da man die Grösse der Kraft, mit welcher der Mittelpunkt der Erde von der Sonne angezogen wird, aus der Grösse seines Fallens zur Sonne, diese aber aus der Art seiner jährlichen krummlinichten Bewegung um die Sonne erkennen kann, so kennt man auch die Kraft, mit welcher die Sonne den betrachteten Punkt auf der

Oberfläche der Erde anzieht, also auch den gesuchten Unterschied beider Kräfte. Dieser Unterschied ist ausserordentlich klein; er beträgt kaum den zwanzigmillionsten Theil derjenigen Kraft, mit welcher die Erde Körper an ihrer Oberfläche anzieht, und welche das Fallen dieser Körper verursacht. Da schwere Körper bekanntlich in der ersten Secunde ihres Fallens etwa 15 Fuss zurücklegen, so sieht man, dass die die Flut und Ebbe (insofern sie von der Sonne herrührt) erzeugende Kraft noch nicht einmal hinreicht, in der ersten Secunde ein Fallen von einem Milliontel eines Fusses hervorzubringen. Hätte die Astronomie uns nicht, seit der Zeit, wo Newton sie aus ihren Kinderschuhen zu treten veranlasste, an das Zusammenhäufen der allerkleinsten Ursachen zu den grössten Wirkungen gewöhnt, so würde es uns nicht zu verargen sein, wenn wir, nachdem wir die Kleinheit der Ursache erkannt haben, die Spur verliessen und daran verzweifelten, dass sie uns zu dem mächtigen Malström Norwegens führen werde. Die Spur ist aber die rechte und wir wollen ihr standhaft folgen, so unscheinbar sie auch sein mag. Die Anhäufung der kleinen Ursache zu grossartiger Wirkung wird hier dadurch erzeugt, das jedes Theilchen des Meeres der Ursache unterworfen ist und wir die Gesammtwirkung auf alle Theilchen beobachten.

Die Ursache, wesshalb die Sonne, deren anziehende Kraft an sich so gewaltig ist, dass sie die anziehende Kraft der Erde in gleicher Entfernung mehr als 350000 mal übertrifft — wesshalb, sage ich, diese

mächtige Sonne, welche die entferntesten Planeten und Kometen am festen Zügel führt, dennoch eine so kleine Kraft auf die Erzeugung der Flut und Ebbe verwendet, diese Ursache ist nicht sowohl die weite Entfernung der Erde von ihr, als der Umstand, dass nicht die Kraft selbst, sondern nur ihr Unterschied am Mittelpunkte und an der Oberfläche der Erde zur Hervorbringung dieser Erscheinung verwandt wird; die Kraft selbst ist viel grösser und findet ihre Anwendung in der Bewegung der Erde um die Sonne. Wenn man jenen Unterschied aufmerksamer verfolgt, so bemerkt man leicht, dass er sich zu der Kraft selbst verhält, wie der Durchmesser der Erde zu der Entfernung des anziehenden Körpers. Da man nun weiss, dass die Entfernung der Sonne von der Erde ohngefähr 12000 mal so gross ist, als der Durchmesser der letzteren, so weiss man auch, dass nur der 12000ste Theil der Kraft der Sonne auf die Erzeugung der Flut und Ebbe verwandt wird. Man kann also auf die Idee gerathen, dass ein, die Erde weit weniger stark anziehender Körper, wenn er nur viel näher ist als die Sonne, einen grösseren Unterschied und also eine grössere Flut hervorbringen kann. Der Mond z. B. ist nur etwa 30 Durchmesser der Erde von ihr entfernt, und seine fluterzeugende Kraft ist also nicht etwa ein 12000stel seiner ganzen Kraft, wie es bei der Sonne war, sondern ein 30stel derselben. Wenn man die Kräfte, mit welchen die Sonne und der Mond die Erde anziehen, miteinander vergleicht, so findet man, dass jene etwa 160 mal so gross ist

als diese; da von jener nur der 12000ste Theil auf die Erzeugung der Flut und Ebbe verwandt wird, von dieser der 30ste Theil, und da der 12000ste Theil von 160 kleiner als ein 30stel, und nur $\frac{2}{5}$ eines 30stels ist, so geht hervor, dass die von der Sonne erzeugte Flut nur $\frac{2}{5}$ der Flut betragen kann, welche der Mond erzeugen muss. Der weit kraftlosere Mond wirkt also drittehalb mal so stark auf die Bewegung des Meerwassers, als die kräftige Sonne.

Was von der Sonne gesagt ist, gilt alles auch vom Monde, mit dem einzigen Unterschiede, dass die Mondsflut drittehalb mal so gross ist, als die Sonnenflut. Der Mond erzeugt also den grösseren Theil dieser Erscheinung, die Sonne den kleineren. Es sind zwei von einander ganz getrennte Fluten vorhanden, deren stärkere dem Monde, die schwächere der Sonne folgt. Das Zusammenwirken beider ist es, was sich uns in der Bewegung des Meerwassers zeigt.

Was aus diesem Zusammenwirken folgt, können wir nun leicht übersehen. Um von bestimmten Zahlen reden zu können, werde ich die Sonnenflut, an irgend einem Orte der Erde, zwei Fuss hoch annehmen; dann ist die Mondflut fünf Fuss hoch. Beide treffen zusammen, wenn Sonne, Mond und Erde in gerader Linie stehen, also zu den Zeiten der Neu- und Vollmonde; die sich dann zeigende Flut ist die Summe beider und sie erreicht die Höhe von 7 Fuss. Stehen aber Sonne, Mond und Erde nicht in gerader Linie, sondern ist der Winkel an der Erde, zwischen der Sonne und dem Monde, ein rechter, so tritt Sonnen-

ebbe ein, wenn Mondflut vorhanden ist; die sich nun zeigende Flut ist also der Unterschied beider, und sie erreicht die Höhe von 3 Fuss. Die höchste Flut beträgt also 7 Fuss, die niedrigste 3 Fuss, und hierdurch wird der beträchtliche Unterschied klar, welcher zwischen den Höhen der Neu- und Vollmondfluten, der sogenannten Springfluten, und den niedrigsten Fluten zur Zeit der Mondviertel schon der geringsten Aufmerksamkeit aufgefallen ist.

Wir können aber die Erscheinung noch weiter verfolgen und auch von ihren kleineren Veränderungen Rechenschaft geben. Wir haben gesehen, dass die fluterzeugende Kraft eines Gestirns desto grösser wird, je näher es der Erde ist. Da z. B. der Mond nicht immer in gleicher Entfernung von der Erde bleibt, sondern seine Bahn so beschaffen ist, dass seine mittlere Entfernung sich um ihren 18ten Theil vergrössern und verkleinern kann, und da ferner aus den vorher angestellten Betrachtungen hervorgeht, dass die fluterzeugende Kraft sich dreimal so stark ändert als die Entfernung, so gehen ihre Veränderungen, für den Mond, auf drei Achtzehntel oder ein Sechstel, und dieselben Veränderungen erleiden die Mondfluten selbst. Statt der angenommenen 5 Fuss ihrer Höhe, kann diese sich also beinahe an 6 Fuss vermehren, oder beinahe auf 4 Fuss vermindern, und die grösste Summe der Mond- und Sonnenfluten kann 8 Fuss, ihr kleinster Unterschied 2 Fuss betragen. Aehnlichen Einfluss auf die Höhe der Fluten hat die Veränderung der Entfernungen der Sonne; er ist aber weit kleiner,

indem sowohl die Sonnenflut, als auch die Veränderlichkeit der Entfernungen der Sonne von der Erde kleiner sind. Endlich haben noch die grössere oder kleinere Abweichung beider Gestirne von dem Aequator, Einflüsse auf die Fluthöhen. Ich verweile hierbei nicht länger, da das Angeführte schon hinreicht, die Bemerkung herbeizuführen, dass die reine Theorie dieselbe Art des Einflusses der Oerter und Entfernungen der beiden Gestirne fordert, welche die Beobachtungen verrathen.

Ich darf jedoch nicht unberührt lassen, auf welche Art das Zusammenwirken der Mondflut und der Sonnenflut Einfluss auf die Erscheinungszeit der gesammten Flut erhält. Wenn beide Gestirne und die Erde in gerader Linie stehen, also zu den Zeiten der Springfluten, treffen die Zeiten beider Fluten zusammen, und die gesammte Flut trifft offenbar auf dieselbe Zeit. Am nächsten Tage kömmt die Sonnenflut zwar zu derselben Tageszeit, aber die Mondflut kommt etwa 50 Minuten später; am zweiten Tage kommt diese wieder 50 Minuten später u. s. w. Da in dem Augenblicke des Erscheinens der Mondflut der Wasserstand, wegen der Abnahme der Sonnenflut, sich schon erniedriget, so muss vorher ein grösserer vorhanden gewesen, oder die gesammte Flut muss zwischen beiden einzelnen erschienen sein, d. h. ihre Wiederkehrzeit ist kleiner als die der Mondflut allein. Wenn dagegen, zur Zeit der Mondsviertel, die Mondflut und die Sonnenebbe zusammentreffen, trifft offenbar auch die gesammte Flut wieder gleichzeitig ein;

allein am nächsten Tage, wenn die erstere später eintrifft, ist das Wasser, weil die Sonnenebbe schon vorüber ist, im Steigen und sein höchster Stand zeigt sich später, oder die Wiederkehrzeit der Gesammtfluten ist grösser als die der Mondflut allein. Offenbar hängt die Grösse der Zeit, in welcher die gesammte Flut der Mondflut vorangeht, oder darauf folgt, nicht allein von der Zeit ab, in welcher die Sonnenflut vor ihr vorangeht, oder auf sie folgt; sie wird auch verändert durch eine Veränderung des Verhältnisses der Höhen beider Fluten, von welchem wir schon gesehen haben, dass es von mehreren verschiedenen Umständen abhängt. Die Eintrittszeit einer Flut oder Ebbe ist daher eine sehr zusammengesetzte Erscheinung, welche jedoch, nach den eben angedeuteten Betrachtungen, berechnet werden kann, sobald die Zeiten und Höhen der Mond- und Sonnenfluten schon bekannt sind. Das Wenige, was ich über die Zeiten der Fluten gesagt habe, ist auch hier schon hinreichend, die Uebereinstimmung der Forderungen der Theorie mit dem Ergebnisse der Beobachtungen bemerklich zu machen.

Indessen hat es ein beträchtliches Interesse, die vollständig entwickelte Theorie, also Rechnungsvorschriften, welche Zeit und Höhe der Fluten jedes Tages bestimmen, durch die Beobachtung nicht bloss im Allgemeinen, sondern bis in alle Einzelnheiten, welche sie verrathen kann, zu prüfen. Dieses Interesse ist durch die schon erwähnten Einrichtungen in französischen und englischen Häfen befriedigt worden, welche den Verlauf der höchst verwickelten Erscheinung mit einer

Vollständigkeit kennen gelehrt haben, die nichts zu wünschen übrig lässt, und welche die, allen diesen Verwickelungen folgende Theorie täglich durch neue Bestätigung ihrer Richtigkeit krönt. Allein die durch diese Einrichtungen gewonnenen Beobachtungen führen noch über die Rechtfertigung der Theorie hinaus; sie führen zu einer wichtigen Kenntniss über das Weltgebäude. Die Höhen beider Fluten, deren Gesammtwirkung sich der Beobachtung darstellt, hängen, wie vorher gezeigt ist, von den Kräften ab, mit welchen die Sonne und der Mond die Erde anziehen: das Verhältniss dieser Kräfte offenbart sich also in den Beobachtungen, und seine Kenntniss, welche durch diese erlangt werden kann, ist ein wesentlicher Theil der Kenntniss des Weltgebäudes, welches nur durch Kräfte regiert wird, und dessen Bewegungen nur mathematisch verfolgt werden können, wenn die Kräfte bekannt sind, aus denen sie hervorgehen. Auf diese Art sind die Observatorien für die Flut und Ebbe schätzbare Zugaben der Observatorien für die Sterne geworden, welche, gleich diesen, zur Kenntniss aller der Erscheinungen am Himmel führen müssen, welche von dem Verhältnisse der anziehenden Kräfte der Sonne und des Mondes abhängen.

Weniger scharf und weniger wichtig für das Weltsystem, aber in die Augen fallender sind andere Bestätigungen der Theorie der Flut und Ebbe, welche ich nicht unerwähnt lassen will. Die zum Gebrauche der französischen Seefahrer bestimmte, jährlich erscheinende Ephemeride der Himmelserscheinungen ent-

hält, seit der Zeit der Vollendung der Laplace'schen Theorie der Flut und Ebbe, auch die Angabe der Höhen der bei jedem Neu- und Vollmonde zu erwartenden Springfluten; indem man dadurch die Höhe, welche das Wasser erlangen wird, voraus kennt, kann man sich vorbereiten, entweder einer nachtheiligen Wirkung ungewöhnlich hohen Steigens vorzubeugen, oder Nutzen daraus zu ziehen. Beides ist nicht ohne Erfolg geschehen: die Aufmerksamkeit, welche man in der Erwartung einer ungewöhnlich hohen Flut, auf die Dämme gewandt hat, hat sie häufig erhalten und Ueberschwemmungen abgewandt unter Umständen, welche früher nachtheilige Spuren zu hinterlassen pflegten: Nutzen ist aus einer ungewöhnlich hohen Flut gezogen worden, wenn Schiffe über Untiefen hinweggebracht werden sollten, welche gewöhnlich nicht Wasser genug über sich haben u. s. w.

Ich muss noch des Grundes gedenken, welcher zur Folge hat, dass eingeschlossene Meere nur unbedeutende Flut und Ebbe besitzen. Die Ursachen, welche diese Bewegungen erzeugen, haben nur dann eine beträchtliche Wirkung, wenn sie auf eine grosse, miteinander verbundene Wassermasse wirken. Man übersieht dieses sehr leicht, wenn man der Vorstellung folgt, welche oben durch die Betrachtung des in einer Röhre befindlichen Wassers erlangt worden ist.

Denkt man sich also über den Boden eines eingeschlossenen Wasserbeckens, in einer Richtung auf den gerade unter der Sonne befindlichen Punkt der Erde zugehend, eine Röhre geführt, deren Enden,

an den Rändern derselben, über den Wasserspiegel hervorragen, so wird die Höhe des Wassers in beiden Enden (und damit die Höhe des Wasserspiegels an denselben Punkten) durch den Unterschied der daselbst nach dem Mittelpunkte der Erde gerichteten Kräfte, und ferner durch die Summe der Drucke, welche die Wassertheilchen in der Röhre ihrer Länge nach ausüben, geändert. Jener Unterschied ist aber unbedeutend, wenn die Enden der Röhre nicht weit von einander entfernt sind, und gleichfalls ist diese Summe unbedeutend, wenn die Röhre eine geringe Länge besitzt. Beide Theile der Anziehungen des Mondes und der Sonne können also in kleinen Meeren, nur geringe Bewegungen des Wassers erzeugen. Das Fehlen beträchtlicher Fluten und Ebben in solchen Meeren widerspricht nicht der für das Weltmeer entwickelten Theorie, sondern wird vielmehr durch sie gefordert.

Laplace hat noch eine Betrachtung über die Flut und Ebbe angestellt, von welcher ich bisher nicht habe reden können. Er hat die Beantwortung der Frage gesucht, ob die Schwankungen der Oberfläche des Meers, welche zwar an einigen Küsten viele Fusse betragen, dennoch aber, vergleichungsweise mit der Grösse der Erde selbst, sehr klein sind, immer eine ähnliche Grösse besessen haben und besitzen werden, oder ob sie viel grösser gewesen sind und werden können? — Die Beantwortung dieser Frage hat ein grosses Interesse, indem sie die Beständigkeit der gegenwärtigen Ordnung der Dinge auf der

Erde berührt, und auch zur Erkenntniss auffallender geologischer Erscheinungen beitragen kann. Sie hängt zusammen mit der Unterscheidung zwischen zwei Zuständen des Gleichgewichtes, welche beide möglich, dennoch aber so verschieden von einander sind, dass der eine sehr leicht, der andere durch kein Mittel wirklich hervorgebracht werden kann. Diese beiden Arten des Gleichgewichtes, das stetige und das unstetige, unterscheiden sich durch den Erfolg, welchen kleine Störungen, die sie erfahren, haben. Im Falle das Gleichgewicht stetig ist, bringen solche Störungen kleine Schwankungen um seinen Zustand hervor; im Falle des unstetigen Gleichgewichtes erzeugen sie keine Schwankungen, sondern einen gänzlich veränderten Zustand. Das Beispiel eines Ei's kann beide Arten des Gleichgewichtes anschaulich machen: auf seinen kürzesten Durchmesser gelegt, ist es im stetigen Gleichgewichte, welches sich herzustellen sucht, wenn es gestört wird; auf seinen längsten Durchmesser gestellt, ist sein Gleichgewicht, sein Stehenbleiben, auch möglich, aber ausführbar ist es nicht, indem die vollkommen senkrechte und ruhige Aufstellung nicht erlangt werden kann, und wenn sie erlangt wäre, schon durch Erschütterungen verloren gehen würde, welche viel zu klein sind um sie anderweitig bemerken zu können; bei dieser Aufstellung, auf welche unfehlbar das Umfallen folgt, befindet sich also das Ei im unstetigen Gleichgewichte. Von ähnlicher Art ist die von Laplace beantwortete Frage; die Frage nämlich, nach den Bedingungen,

welche erfüllt werden müssen, wenn das Gleichgewicht des Meeres stetig sein und die Grösse seiner Schwankungen sich nicht bis zu dem Ueberfluten der Gebirge vermehren soll. Unter der Voraussetzung, dass die Tiefe des Meeres, vergleichungsweise mit dem Halbmesser der Erde, nicht bedeutend sei, hat die Analyse dieses grossen Geometers bewiesen, dass die Stetigkeit des Gleichgewichtes des Meeres fordert, dass die Dichte seiner Flüssigkeit kleiner sei als die mittlere Dichte der Erde. Dieses findet in der Natur wirklich statt, indem man durch die Versuche, welche Maskelyne über die Anziehung eines Berges, und Cavendish über die Anziehung grosser Kugeln von Blei, angestellt haben, weiss, dass die mittlere Dichte der Erde etwa fünf Mal so gross ist, als die Dichte des Wassers. Es ist also an der Stetigkeit des Gleichgewichtes des Meeres nicht zu zweifeln, und es ist eben so sicher, dass die Flut nie das hohe Land überströmen wird, als es sicher ist, dass die auf grossen Höhen vorhandenen Ueberreste von Seethieren nicht durch ehemals höhere Fluten hinaufgebracht sind.

Ich glaube Sie von der merkwürdigen Erscheinung der Flut und Ebbe so lange unterhalten zu haben, als es an diesem Orte erlaubt sein kann. Ich habe das was sie uns täglich zeigt und was Folge davon ist, so wie auch ihre Verbindung mit dem allgemeinen Gesetze der Anziehung, in rohen Umrissen anzudeuten gesucht. Erlauben Sie mir nun noch, dass ich auch auf den Hintergrund des Bildes hinweise; auf das was sich in blauer Ferne zeigt, in

deren Nähe kein menschliches Auge gedrungen ist und kein menschlicher Verstand dringen wird, dessen Beschreibung höchstens nur in den grossartigsten, aber auch am schwersten zu deutenden Zügen, nämlich in den Gebirgszügen der Erde, zu uns gelangen könnte. Ich rede von der Jugendzeit der Erde, von der Zeit, in welcher das Urgebirge noch im geschmolzenen Zustande vorhanden war, in welcher die Erde eine ganz, oder grossentheils flüssige Masse bildete. Dieselben Ursachen, welche das wenige Wasser auf der Erde um wenige Fusse steigen und fallen lassen, haben auch jene grosse flüssige Masse in Schwankungen versetzt; aber in berghohe Schwankungen, in Bewegungen, von welchen keine Vorstellung mehr vorhanden ist und denen unsere Einbildungskraft vielleicht nicht einmal folgen kann. Wäre diese heftig bewegte Masse zuerst an ihrer Oberfläche erstarret, oder hätten sich ihre zuerst erstarrten Theile an die Oberfläche begeben, wie das auf dem schwereren Wasser schwimmende, leichtere Eis unserer Polarmeere, so müssten Folgen, denen ähnlich, welche diese Meere uns zeigen, eingetreten sein: die erstarreten Theile würden hin- und hergeworfen sein, sich über und untereinander gedrängt, ihre horizontale Lage in geneigte Lagen verändert, und bei fortschreitender Erstarrung eine Oberfläche gebildet haben, von welcher die aus Eisbergen und Eisflächen zusammengefrorene, unebene Oberfläche der Polarmeere vielleicht ein Bild, wenn auch nur ein im kleinsten Maassstabe ausgeführtes, gewährt. — Ich habe auch

dieser möglichen bleibenden Folge der Flut und Ebbe erwähnen wollen. Dass sie den Beweisen des nach und nach erfolgten und noch erfolgenden Emporsteigens der Gebirge der Erde, welche nicht etwa durch Verfolgung zweideutiger Gründe, sondern durch Beobachtung zusammenhängender Thatsachen erlangt worden sind, nicht entgegentreten soll und kann, ist der Natur der Sache angemessen und braucht daher kaum erwähnt zu werden. Ueberhaupt ist meine Meinung, dass von Dingen und Ereignissen in „blauer Ferne," d. h. von solchen, zu welchen keine ununterbrochene Stufenreihe verfolgt werden kann, viel Nichtunvernünftiges zwar gesagt, aber nie als unzweideutige Wahrheit erkannt werden kann. Das erfahrungsgemässe, nie abbrechende Zurückkommen auf alle Dinge und Ereignisse, deren Entfernung von uns, dem Raume oder der Zeit nach, als unendlich angesehen werden kann, rechtfertigt wenigstens diese Meinung.

Messung der Entfernung des 61. Sterns im Sternbilde des Schwans.

Unter den Aufgaben, welche eine fortschreitende Wissenschaft herbeiführt, findet sich vielleicht in jedem Jahrhunderte eine, welche grossen Einfluss auf die Entwickelung der Wissenschaft erhält und hierdurch weit wichtiger wird, als durch ihre Auflösung selbst. Eine solche Aufgabe ist nichts anderes, als die bestimmte Bezeichnung eines zu erreichenden Zieles, ausgesprochen nach der Erlangung der Einsicht in die Möglichkeit es zu erreichen. Sie wird nicht von Einem gegeben und nicht von Einem aufgelöset, sondern Beides entwickelt sich aus dem Gange der Wissenschaft, welchen die Anstrengungen Vieler bis zu der Aufgabe befördert haben und bis zu ihrer Auflösung befördern. Dieses ist der Fall der Aufgabe von der Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns: ich halte ihre endliche Auflösung, von welcher ich meinen Zuhörern berichten will, für fast unbedeutend, vergleichungsweise mit den weitgreifenden Kenntnissen, welche das Suchen derselben der Wissen-

schaft hinzugesetzt hat. Ich handele in dieser Ansicht, indem ich meine jetzige Mittheilung dem Versuche widme, die Aufgabe von ihrer Entstehung bis zu ihrer Auflösung zu verfolgen.

Als Copernicus, durch die Verfolgung der einfachen Bemerkung, dass die sichtbare Bewegung eines Punktes, ebensowohl durch die Ortsveränderung des Gesichtspunktes, als durch seine eigene, erzeugt werden kann, zu dem grossartigen Resultate gelangte, dass nicht nur die Planeten, sondern auch die Erde sich um die Sonne bewegen, da konnte nicht mehr bezweifelt werden, dass alle, von der Erde gesehenen Gegenstände, die an ihrer eigenen Bewegung nicht Antheil nehmen, Bewegungen an der Himmelskugel zeigen müssen, selbst wenn sie an sich unbeweglich sind. Denn da die Erde, während eines Jahres, durch alle Punkte ihrer Bahn läuft, so müssen alle, während dieser Zeit, von ihr nach einem nicht mit ihr bewegten Punkte gelegten Gesichtslinien, sich in diesem durchschneiden, also nach und nach verschiedene Richtungen annehmen; oder, mit anderen Worten, der Punkt muss seine Richtungen stetig verändern und, während des Jahres, eine Bahn an der Himmelskugel zu durchlaufen scheinen. Auch die Fixsterne müssen also diese scheinbaren Bewegungen zeigen und dadurch ihre gegenseitigen Stellungen verändern; sie müssen sie desto grösser zeigen, je näher, desto kleiner, je weiter sie sind; und aus der Grösse, in welcher sie sie zeigen, muss sich ihre Entfernung erkennen lassen.

Dieser offenbar richtigen Folgerung aus der copernicanischen Lehre wird aber durch eine ältere Lehre widersprochen, welche behauptet, dass die Fixsterne ihre gegenseitigen Stellungen nicht ändern. Als Copernicus mit seinem Weltsysteme hervortrat, traten auch Widersprüche dagegen hervor, und unter diesen zeichnete sich der eben angeführte, sowohl durch sein Gewicht, als durch die Folgen, welche er hatte, aus. Wirklich waren die Feinde der neuen Lehre vollkommen berechtigt, von den Freunden derselben zu fordern, dass sie die Bewegungen nachwiesen, welche die Fixsterne, in Folge dieser Lehre, nothwendig haben müssen. Auch konnten die Copernicaner sich nicht anders schützen, als durch die Annahme, die Entfernungen der Fixsterne seien so gross, dass selbst die grosse Ortsveränderung, welche die Erde in einem halben Jahre erfährt, nur so kleine Veränderungen ihrer Richtungen hervorbringe, dass sie schwer zu erkennen seien und sich bis zum Unkenntlichwerden mit den Unvollkommenheiten der Beobachtungen vermischen. Obgleich die Beobachtungen der Astronomen der damaligen Zeit noch sehr roh waren und über mehrere Minuten nicht entscheiden konnten, so muss man doch die Annahme einer so grossen Entfernung, dass sie die scheinbaren Bewegungen nicht über diese Grenze hinaus ausdehnte, eine kühne nennen, zu einer Zeit, in welcher das Mikroskop und das Fernrohr noch nicht an die Anwendung der Wahrheit gewöhnt hatten, dass klein und gross nur beziehungsweise eine Bedeutung haben. Indessen waren

zu starke Gründe für das copernicanische System vorhanden, als dass sein grosser Urheber vor der Kühnheit einer Annahme hätte erschrecken dürfen, gegen deren mathematische Möglichkeit kein Zweifel obwaltete: er, der gewagt hatte, eine von den Vorstellungen seiner Zeit gänzlich verschiedene Weltordnung zu begreifen, hatte kein Bedenken, die Entfernungen der Fixsterne für so gross anzunehmen, dass, von ihnen gesehen, der von der Erde um die Sonne durchlaufene Raum „aus den Augen verschwinde," so gross er auch erscheinen mag, wenn er mit einem irdischen Masse gemessen wird.

Wenn die Beobachtungen, welche Copernicus über die Richtungen der Gestirne anstellen konnte, auch noch nicht scharf genug waren, um scheinbare Bewegungen an den Fixsternen zu verrathen, so war doch eine Schärfe derselben denkbar, welche diese, im Falle der Wahrheit seiner Lehre unfehlbar vorhandenen Bewegungen, an den Tag legen musste. Mit dem neuen Weltsysteme zugleich trat also die Aufgabe hervor, die Schärfe der astronomischen Beobachtungen so zu vermehren, dass sie die Bewegungen der Fixsterne nicht mehr verbergen, sondern ihre Grösse angeben und dadurch die Entfernungen dieser Sterne selbst bestimmen sollten. Wie gross die hierzu erforderliche Vermehrung der Genauigkeit der Beobachtungen sein musste, konnte man aber noch nicht ahnden; und wenn man sich schon in jener frühen Zeit bemühete, sie wirklich zu erlangen, so gründeten diese Versuche sich auf die Hoffnung, schon durch

die am nächsten liegenden Verbesserungen des vorhandenen Zustandes der Beobachtungskunst das erreichen zu können, was erst durch viel weiter entfernte, welche drei Jahrhunderte, durch angestrengte Bemühungen und die Erfindung nicht geahndeter Hülfsmittel lieferten, nicht in allen Fällen, sondern bis jetzt nur in einem einzigen Falle, erreicht worden ist. Dieselben Anstrengungen, welche für die Erfindung der Entfernung eines Fixsterns so lange Zeit erfolglos geblieben sind, sind aber die Quellen geworden, aus welchen die Astronomie ihre grössten Erfolge geschöpft hat; Erfolge, deren vorangehende Erlangung die Bedingung war, nicht allein der endlichen Erkenntniss der Entfernung eines Fixsterns, sondern auch des Steigens der Wissenschaft bis zu der Stufe, auf welcher sie sich jetzt befindet.

Die Geschichte jeder astronomischen Erkenntniss, welche nur durch genauere Beobachtungen erlangt werden konnte, fängt nie vor, gewöhnlich mit Tycho de Brahe an, welcher nicht nur das wissenschaftliche Gewicht der Genauigkeit der Beobachtungen zuerst gehörig erkannte, sondern sie auch bis zu einem Grade zu vermehren wusste, gegen den der früher erreichte beträchtlich zurückbleibt. Er versah seine Uranienburg auf der Insel Hveen mit einem Reichthume von Instrumenten, deren Einrichtung und Ausführung ihm erlaubten, seinen Beobachtungen die Sicherheit einer Minute zu geben. Diese, bis dahin unerhörte Sicherheit machte bekanntlich die Entdeckungen über die Bewegungen im Sonnensysteme möglich, welche

Kepler's Namen verherrlichen; aber aus den Tychonischen Beobachtungen des Polarsterns ergab sich, trotz der erlangten Vermehrung ihrer Sicherheit, noch kein Einfluss der Ortsveränderungen der Erde auf die Richtungen dieses Sterns, und Kepler folgerte daraus, dass dieser nicht eine Minute übersteige.

Ehe ich weiter gehe, sei es mir erlaubt, die Art näher zu erläutern, in welcher der Einfluss der Ortsveränderungen der Erde sich in den Richtungen der Fixsterne zeigt. Eine gerade, zwei Punkte miteinander verbindende Linie, hat offenbar die einander gerade entgegengesetzten Richtungen, jenachdem sie von dem einen oder dem andern dieser Punkte ausgehend angenommen wird, oder, was dasselbe ist, sie trifft die Himmelskugel an zwei Punkten, welche einander diametral entgegengesetzt sind. Der Fixstern erscheint also, von der Erde aus, an einem Punkte der Himmelskugel, welcher dem Punkte diametral entgegengesetzt ist, wo die Erde, von dem Fixsterne aus, erscheint: während die Erde jährlich ihre Bahn durchläuft, beschreibt also der Fixstern eine scheinbare Bahn an der Himmelskugel, welche der Bahn der Erde, so wie sie von dem Sterne gesehen wird, sowohl der Figur, als der Grösse nach, vollkommen gleich ist, und keinen weitern Unterschied von ihr hat, als den in ihrer Lage in dem entgegengesetzten Theile der Himmelskugel bestehenden. Die Bahn der Erde wird aber, von dem Sterne aus, in derselben Figur gesehen, in welcher ein schief gesehener Kreis erscheint, in der Figur einer Ellipse, und zwar in

einer desto weniger geöffneten, je kleiner der Winkel ist, in welchem die von dem Sterne nach der Sonne gelegte gerade Linie die Ebene der Erdbahn durchschneidet. Verschwindet dieser Winkel ganz, oder befindet sich der Stern in der erweiterten Ebene der Erdbahn selbst, so verschwindet auch die Oeffnung der Ellipse, oder diese zieht sich in eine gerade Linie zusammen; mit dem grösser werdenden Winkel wird auch ihre Oeffnung grösser, und wenn er ein rechter Winkel ist, oder der Stern senkrecht über der Sonne steht, erscheint auch die Erdbahn, von dem Sterne gesehen, in ihrer wahren, nicht durch die Perspektive veränderten Figur, welche bekanntlich eine kaum von einem Kreise zu unterscheidende Ellipse ist. Die Grösse, in welcher die Erdbahn von dem Sterne gesehen wird, hängt dagegen nicht von der Neigung der Gesichtslinie gegen ihre Ebene, sondern allein von der Entfernung des Sterns ab; beträgt diese 57 Halbmesser der Erdbahn, so wird der Halbmesser derselben unter einem Winkel von einem Grade, d. h. an der Himmelskugel in dieser Grösse, gesehen; beträgt sie 3438 Halbmesser, so erscheint ihr Halbmesser eine Minute gross; beträgt sie 206265 Halbmesser, so kommt seine scheinbare Grösse auf eine Secunde herab; — sie verkleinert sich allgemein in demselben Verhältnisse, in welchem die Entfernung sich vergrössert. — Der anfänglichen Bemerkung zufolge, dass die Figur und Grösse der scheinbaren Bahn des Fixsterns an der Himmelskugel, von der Figur und Grösse nicht verschieden sind, in welchen

die Erdbahn, von dem Sterne aus erscheint, kann das, was ich eben über die letztere gesagt habe, geradezu als sich auf die erstere beziehend betrachtet werden: die Neigung der von der Sonne nach einem Fixsterne gelegten geraden Linie gegen die Ebene der Erdbahn, bestimmt die Figur seiner scheinbaren Bewegung an der Himmelskugel; die Länge dieser Linie, oder seine Entfernung von der Sonne, bestimmt ihre Grösse. Wenn die Neigung und Entfernung beide gegeben sind, so ist damit die scheinbare Bewegung des Sterns vollständig bekannt; hat man diese dagegen, durch Beobachtungen der Oerter des Sterns an der Himmelskugel, kennen gelernt, so kann man, umgekehrt, von ihrer Grösse auf die Entfernung schliessen. Wenn z. B. diese Beobachtungen zeigen, dass der grösste Durchmesser der scheinbaren Bahn des Sterns an der Himmelskugel zwei Minuten, oder ihr grösster Halbmesser eine Minute ist, so folgt daraus, dass seine Entfernung 3438 Halbmesser der Erdbahn beträgt.

Ich hoffe, durch diese Erläuterung des Herganges der scheinbaren Bewegung eines Fixsterns an der Himmelskugel anschaulich gemacht zu haben, wie astronomische Beobachtungen, dadurch dass sie ihre Grösse bestimmen, zur Kenntniss seiner Entfernung führen. Das gebräuchliche Kunstwort Parallaxe bezeichnet die Veränderung des Ortes eines Gegenstandes an der Himmelskugel, welche daraus entsteht, dass der Punkt, von welchem er gesehen wird, eine Bewegung erfährt; ich werde das griechische Wort,

statt des deutschen, im Folgenden anwenden, weil seine angenommene bestimmte Bedeutung mich der Nothwendigkeit überheben wird, jedesmal zu sagen, von welcher Art der Veränderung die Rede ist. Unter Parallaxe eines Fixsterns wird die Entfernung seines, von der Erde gesehenen (scheinbaren) Ortes an der Himmelskugel, von dem von der Sonne gesehenen (wahren oder mittleren) Orte verstanden; durch die Benennung jährliche Parallaxe bezeichnet man die grösste Entfernung des scheinbaren Ortes von dem wahren, welche durch die jährliche Bewegung des ersteren hervorgebracht wird; sie zeigt sich, wenn der Stern sich in dem grössten Durchmesser seiner scheinbaren Bahn befindet, also zweimal im Laufe eines Jahres, zu zwei Zeiten, welche um sechs Monate von einander verschieden sind. Die grösste Veränderung, welche der Ort des Sterns, im Laufe des Jahres, durch die Parallaxe erfährt, ist also das Doppelte seiner jährlichen Parallaxe. Die Bestimmung seiner jährlichen Parallaxe durch die Beobachtungen ist das, was gefordert wird, wenn seine Entfernung bekannt werden soll.

Offenbar müssen die Beobachtungen, durch welche die jährliche Parallaxe eines Fixsterns bestimmt werden soll, desto genauer sein, je kleiner sie ist. Die rohen Beobachtungen zu Copernicus Zeit konnten, indem ihre Unsicherheit mehrere Minuten betrug, eine jährliche Parallaxe von einer Minute, oder weniger, nicht verrathen; sie konnten vielleicht hinreichen, das Nichtvorhandensein einer jährlichen Parallaxe der Fix-

sterne von drei Minuten, und dadurch zu zeigen, dass die Entfernungen dieser Sterne nicht kleiner sind als 1146 Halbmesser der Erdbahn; allein sie konnten von keiner Entfernung mehr Rechenschaft geben, welche über diese Grenze hinausreichte; und wenn die Fixsterne, dem Zeugnisse dieser Beobachtungen zufolge, unermesslich weit erscheinen, so ist darunter nur zu verstehen, dass sie weiter entfernt sind als 1146 Halbmesser der Erdbahn. Wenn man den Grad der Sicherheit der, oben schon erwähnten, Tychonischen Beobachtungen des Polarsterns so annehmen will, wie Kepler ihn zu schätzen scheint, oder, bestimmt ausgesprochen, so, dass sie eine Ortsveränderung des Sterns nicht verrathen konnten, wenn sie nicht über eine Minute betrug, dagegen aber sie verrathen mussten, wenn sie diese Grenze überschritt, so folgt daraus, dass der Durchmesser der scheinbaren Bahn dieses Sterns nicht grösser als eine Minute, und seine jährliche Parallaxe nicht grösser als eine halbe Minute, oder 30 Secunden, der Stern also nicht näher ist als 6875 Halbmesser der Erdbahn. Diese Annahme der Genauigkeit der Beobachtungen (deren Richtigkeit ich übrigens nicht vertreten will) rückt die äussere Grenze des Messbaren, oder die innere des Unermesslichen, schon beträchtlich weiter hinaus; mit jeder Vermehrung derselben entfernt sie sich noch weiter, und wenn vollkommen genaue Beobachtungen gemacht werden könnten (was jedoch nie der Fall sein kann) so würde auch die grösste Entfernung eines Fixsterns nicht mehr unermesslich

bleiben. — Indem der Grad der Genauigkeit der astronomischen Beobachtungen, in der Aufgabe von der Bestimmung der Entfernungen der Fixsterne, eine so wesentliche Rolle hat, wie aus dem eben gesagten hervorgeht, so glaube ich, dass ein Versuch, ihn an einem *irdischen* Beispiele anschaulich zu machen, den Zuhörern nicht unangenehm sein wird. Ich denke mir einen 24000 Fuss (eine Meile) entfernten Gegenstand und werde die Länge einer Linie aufsuchen, zwischen deren beiden Endpunkten das Auge sich muss bewegen können, damit, bei einer gegebenen Schärfe der Beobachtung der Richtungen des Gegenstandes, seine Entfernung *nicht unermesslich* erscheine. Offenbar giebt die Richtung von Einem Punkte nach dem Gegenstande gar kein Urtheil über seine Entfernung; es kann erst durch den Durchschnittspunkt zweier Richtungslinien, von *zwei* Punkten nach dem Gegenstande gelegt, erlangt werden. Damit aber die Richtung von dem einen Punkte nach dem Gegenstande, von der von dem andern ausgehenden unterschieden werden könne, ist eine desto grössere Entfernung des einen von dem andern erforderlich, je weniger genau das Instrument ist, womit man diese Richtungen an beiden Punkten beobachtet. Gewährt es die Sicherheit, welche ich oben den *Tychonischen* Beobachtungen zugeschrieben habe, nämlich zeigt es nicht eher einen Unterschied zweier Richtungen, als bis er eine Minute beträgt, so muss die Linie, an deren Endpunkten es angewandt wird, der 3438ste Theil der Entfernung des Gegenstandes sein, damit der Un-

terschied beider Richtungen durch die Beobachtungen bemerkbar werde; sie muss also 7 Fuss lang sein; und kürzer darf die Linie nicht sein, wenn von ihren Endpunkten aus, durch Beobachtungen von der angenommenen Genauigkeit, der eine Meile entfernte Gegenstand nicht unermesslich entfernt erscheinen soll. Haben die Beobachtungen eine sechsmal grössere Sicherheit, oder entscheiden sie über 10 Secunden eben so sicher, als die angenommenen über eine Minute, so hört die Meile schon auf unermesslich zu erscheinen, wenn das Auge sich nur durch den sechsten Theil der vorigen Entfernung, oder durch 14 Zoll, zu bewegen den Raum hat; haben sie die Sicherheit von einer Secunde, so ist nur ein Raum von $1\frac{2}{5}$ Zoll erforderlich. Die Messung der Entfernung eines Fixsterns, dessen jährliche Parallaxe resp. 30 Sec., 5 Sec., $\frac{1}{2}$ Secunde beträgt, der also resp. 6875, 41253, 412530 Halbmesser der Erdbahn entfernt ist, ist weder mehr noch weniger schwierig, als die Messung der Entfernung eines, eine Meile entfernten Gegenstandes, von einer Standlinie aus, deren Länge resp. 7 Fuss, 14 Zoll, $1\frac{2}{5}$ Zoll ist. Hat die jährliche Parallaxe eines Fixsterns z. B. die Grösse einer halben Secunde, oder ist er 412530 Halbmesser der Erdbahn entfernt, so kann man nicht eher erwarten, ihr Vorhandensein durch Beobachtungen zu entdecken, als bis es gelungen ist, diesen eine so grosse Schärfe zu geben, dass sie schon bei einer Ortsveränderung von $1\frac{2}{5}$ Zoll, eine Veränderung der Richtung nach einem eine Meile entfernten Gegenstande angeben.

Indem die Beobachtungen von Tycho de Brahe noch keine Parallaxe der Fixsterne verriethen, wurde klar, dass grösserer Erfolg ihrer Aufsuchung nur von weiterer Verfeinerung der Beobachtungen ausgehen konnte. Es ist in der Ordnung, dass ein so beträchtlicher Fortschritt, wie der von Tycho in dieser Beziehung gemachte, lange für die Erreichung des höchsten, zugänglichen Zieles gehalten wird; wenn er auf der Anwendung aller, zu seiner Zeit vorhandenen, dem Ziele nähernden Mittel beruhet, so kann wirklich nur eine weitere Annäherung an dasselbe erfolgen, nachdem diese Mittel durch neue Erfindung vermehrt worden sind. Augenscheinlich ist die Grenze der erreichbaren Genauigkeit einer Beobachtung, die Schärfe, mit welcher die dadurch zu bestimmende Richtung, durch das Auge aufgefasst werden kann; das Auge unterscheidet aber kaum kleinere Grössen, als die, bis auf welche Tychos Beobachtungen richtig sind, und hieraus geht hervor, dass ein Versuch, die Genauigkeit der Beobachtungen noch beträchtlich zu vermehren, fruchtlos geblieben sein würde, wenn nicht ein, die Kraft des Auges unterstützendes Hülfsmittel erfunden worden wäre. Das Fernrohr wurde zuerst (1667) von den französischen Astronomen Picard und Azout, an den astronomischen Messinstrumenten angebracht, und vermehrte die Schärfe der Auffassung einer Richtung so sehr, dass nun beträchtlich genauere Beobachtungen möglich erschienen. Durchgreifende Vervollkommnungen jener Instrumente, nicht allein in der Anbringung des Fernrohres bestehend,

erdachten sowohl Flamsteed als Römer. Der erstere wandte seine neuen Hülfsmittel, länger als 30 Jahre lang, bis zu seinem Tode (1719) auf der Sternwarte in Greenwich an, und erlangte dadurch eine Reihe von Beobachtungen, von welchen seine eigenen Untersuchungen zeigten, dass sie seinem Zwecke, der kein geringerer war, als die Vervollkommnung der ganzen Astronomie, entsprachen. Der letztere, nicht weniger als Flamsteed von Einsicht in die Wissenschaft und von Eifer für sie getrieben, beobachtete in Copenhagen; allein wir sind der Früchte seiner seltenen Talente und seines Fleisses durch eine Feuersbrunst beraubt worden, welche nur so viel davon übrig gelassen hat, dass es die Grösse des Verlustes in volles Licht setzen konnte. — So sehr erfolgreich die Beobachtungen Flamsteeds und seine darauf gegründeten Untersuchungen, für das Ganze der Astronomie gewesen sind, so kräftig die vielleicht sechsfache Vermehrung der Sicherheit der Tychonischen Beobachtungen, zur Kenntniss des Zustandes und der Bewegungen des Himmels beigetragen hat, so zeigten doch auch diese genaueren Beobachtungen noch keinen bestimmten Werth der jährlichen Parallaxe eines Fixsterns, sondern verkleinerten nur noch mehr die Grenze, welche sie nicht übersteigt.

Wenn man aus der über die Genauigkeit der Tychonischen Beobachtungen gemachten Annahme folgern muss, dass der Polarstern mehr als 6875 Halbmesser der Erdbahn entfernt ist, so muss man auch aus der Annahme der sechsmaligen Vermehrung ihrer

Sicherheit durch Flamsteed, verbunden mit der Angabe, dass auch seine Beobachtungen desselben Sterns keine jährliche Parallaxe verrathen, folgern, dass dieser Stern eine mehr als sechsmal so grosse, also 41250 Halbmesser der Erdbahn überschreitende Entfernung besitzt. Allein man darf der Angabe, worauf diese Folgerung beruhet, nicht unbedingtes Zutrauen schenken, indem Flamsteeds Beobachtungen wirkliche Veränderungen des Ortes des Sterns zeigten, welche er selbst für die gesuchten, parallactischen hielt, welche aber, durch eine spätere Untersuchung, als dem Gesetze nicht entsprechend erkannt wurden, nach welchem die Parallaxe sich im Laufe des Jahres verändern muss. Diese Veränderungen entstanden also nicht aus der Parallaxe; allein Flamsteeds Beobachtungen gaben sie noch nicht vollständig genug zu erkennen, und waren auch noch nicht so genau, dass sie von der Art ihres Herganges unzweideutige Rechenschaft hätte ablegen können. Ihre Erklärung erfolgte also noch nicht, und konnte noch nicht erfolgen; und daher mussten die Abweichungen der Beobachtungen untereinander, durch welche die unerklärten Veränderungen sich verriethen, nothwendig das Zutrauen schwächen, welches man den Resultaten derselben, ohne diese Abweichungen beizulegen geneigt gewesen sein würde. Auch Picard hatte ähnliche Unregelmässigkeiten in seinen eigenen Beobachtungen erkannt; und ähnliche, aus Römers Beobachtungen hervorgehende, veranlassten seinen Nachfolger Horrebow, sie irrthümlich für eine Paral-

laxe der Fixsterne, also für einen Beweis des Umlaufes der Erde um die Sonne anzusehen, und daher eine Schrift mit dem Titel Copernicus triumphans erscheinen zu lassen.

Dieser Zustand der Sache lässt kaum verkennen, dass noch eine unbekannte Ursache vorhanden war, welche sich dem Streben der Astronomie nach Sicherheit ihrer Resultate widersetzte. Später ist sie wirklich erkannt worden, und ich werde nicht unterlassen, ihre Entdeckung, welche eine der schönsten und wichtigsten ist, die man in der Astronomie je gemacht hat, mit der Ausführlichkeit darzustellen, welche sie verdient. Vorher aber will ich aufmerksam darauf machen, dass die Aufgabe, die Entfernung eines Fixsterns zu bestimmen, eine andere stillschweigend einschliesst. Indem nämlich die Parallaxe eines Fixsterns nur durch Beobachtung der Veränderungen seines Ortes an der Himmelskugel erkannt werden kann, so muss vor ihrer Aufsuchung bekannt sein, welche Veränderungen dieser Ort, unabhängig von der Parallaxe, erfährt. Erleidet er noch aus einer andern Ursache unerkannte, und daher nicht durch Rechnung zu beseitigende Veränderungen, so vermischen sich diese mit der Parallaxe, und entstellen daher das, was die Beobachtungen rein ergeben sollten. Die vollständige Erkenntniss aller anderweitigen Aenderungen, welche sich in allen Oertern der Fixsterne zeigen können, ist also die Aufgabe, welche von der ausgesprochenen eingeschlossen wird. Ihre Auflösung wird Bedingung der Möglichkeit, die aus-

gesprochene aufzulösen. Sie berührt aber nicht diese allein, sondern alle astronomischen Kenntnisse, indem diese immer von der Voraussetzung der Kenntniss des Inbegriffes aller Ortsveränderungen der Fixsterne ausgehen; sie erlangt hierdurch die grösste Wichtigkeit für die ganze Astronomie, und wenn ich gezeigt habe, wie die aufeinanderfolgenden Verfeinerungen der Beobachtungskunst endlich so weit geführt hatten, dass das Vorhandensein noch unbekannter Veränderungen der Oerter der Fixsterne nicht mehr verborgen blieb, so geht daraus hervor, wie die Bemühungen, die ursprüngliche Aufgabe aufzulösen, nun eine andere hervortreten liessen, welche noch allgemeinere Wichtigkeit besitzt, als jene. Die Wissenschaft in ihren Kinderjahren ahndete nichts von diesen verborgenen Aenderungen der Oerter der Fixsterne; allein reiferes Alter hat in häufigen Fällen grössere Bedürfnisse der Astronomie hervorgebracht, so wie auch die Kräfte zu ihrer Befriedigung.

Ich bin nun zu der Zeit James Bradley's gelangt, des grössten Astronomen des vorigen Jahrhunderts, dessen Scharfsinn und vollständiger Einsicht in das Wesen der praktischen Astronomie, es gelungen ist, sie in einen Zustand zu versetzen, von welchem die Epoche angehet, in der wir (nach beseitigten Rückschritten) uns gegenwärtig befinden. Seine glänzende Laufbahn eröffnet sich mit derselben Aufgabe, deren Geschichte ich gegenwärtig darzustellen versuche. Ich muss aber wieder zurückgehen, bis zu einem sehr scharfsinnigen Manne in England, Robert

Hooke, welcher schon im Jahre 1669 Ideen verfolgte, die denen sehr ähnlich waren, welche Bradley später an ein nicht gehofftes Ziel führten. Hooke ging darauf aus, die lange gesuchte Parallaxe der Fixsterne durch das Mittel hervortreten zu lassen, welches die Hoffnung, sie zu entdecken, nur täuschen konnte, wenn seine Anwendung früher an die äusserste Grenze der erreichbaren Vollendung gelangte, als an die Parallaxe der Fixsterne: er ging darauf aus, die Schärfe der Beobachtungen so hoch als möglich zu treiben. — Ich werde versuchen, die Ideen, welche ihn leiteten, darzustellen.

Das Fernrohr fasst die Richtung nach einem Sterne desto genauer auf, je grösser und besser es ist; es leistet dieses dadurch, dass man das in ihm erscheinende Bild des Sterns an einen bestimmten Punkt in seinem Inneren, gewöhnlich den Durchschnittspunkt zweier sehr feinen Fäden bringt, welche so gestellt sind, dass man sie mit dem Sterne zugleich deutlich sieht. Allein mit dieser Auffassung der Richtung wird nicht eher etwas gewonnen, als bis ein Mittel ergriffen ist, die aufgefasste Richtung von jeder anderen zu unterscheiden. Das Fernrohr muss daher mit einem eingetheilten Kreise oder Kreisbogen in Verbindung gesetzt sein, welcher dieses Mittel gewährt, und wenn die Genauigkeit der Auffassung der Richtung, welche man durch das grosse Fernrohr erlangt, nicht nutzlos werden soll, so muss die Beobachtung derselben auf dem Kreisbogen eine Schärfe besitzen, welche hinter der Kraft des Fernrohrs nicht zurückbleibt, und welche

desto vollständiger zu erlangen ist, je grösser der Halbmesser des Kreisbogens gewählt wird. Endlich muss die durch das Zusammenwirken beider Mittel gesicherte Richtung nach dem Sterne nicht durch unbekannt bleibende Störungen entstellt werden. Solche Störungen waren aber in der astronomischen Strahlenbrechung vorhanden, deren Gesetz man zu der Zeit, von welcher ich rede, noch bei weitem nicht so genau kannte, als man es jetzt kennt; hierdurch wurde man gezwungen, die Beobachtungen auf die Nähe des Scheitelpunktes zu beschränken, wo die Veränderungen der Strahlenbrechung so klein sind, dass die darüber bestehende Unsicherheit nicht wesentlich in Betracht kam. — Diesen Forderungen suchte Hooke zu entsprechen. — Um eine ohngefähre Uebersicht über die von ihm getroffenen Einrichtungen zu erhalten, kann man sich ein 36 Fuss langes, gerade in die Höhe gerichtetes, und mit seinem oberen Ende in einer Oeffnung des Daches des Hauses befindliches Fernrohr vorstellen, welches an diesem Ende an einer horizontalen Axe aufgehängt war, um welche es kleine Bewegungen in der Richtung des Meridians machen, und dadurch von kleinen südlichen Entfernungen von dem Scheitelpunkte, zu kleinen nördlichen gebracht werden konnte. Hatte man dieses Fernrohr auf einen, durch den Meridian gehenden Stern gerichtet, so zeigte ein an der Axe befestigter, durch ein frei herabhängendes Gewicht gespannter Faden, auf einem am untern Ende des Fernrohrs befindlichen Gradbogen, die Neigung an, welche das Fernrohr gegen die

Lothlinie besass. Diese Einrichtung erscheint dermassen zweckmässig, dass man nicht zweifeln kann, dass Hooke damit schon sehr kleine Veränderungen der Richtung des Sterns, von einer Zeit des Jahres zu der anderen, musste beobachten können, weit kleiner, als irgend ein anderes astronomisches Instrument verrathen konnte. Allein dennoch verfehlten seine Beobachtungen ihren Zweck gänzlich: der Apparat war gut, und Hooke war scharfsinnig, aber er war kein Beobachter und kein Bradley, und so überliess er diesem die Ernte, die er hätte einsammeln können.

Die augenscheinliche Aussicht auf den gewünschten Erfolg, welche so zweckmässige Einrichtungen gewährten, bewog später einen englischen Edelmann, Molyneux, die von Hooke verlassene Bahn wieder zu betreten, und in seinem Hause in Kew (dem jetzigen königlichen Palaste) einen Apparat zu errichten, welcher dem Hookeschen im Wesentlichen gleich war, im Einzelnen aber der gegebenen kurzen Beschreibung mehr entsprach, als sie dem Hookeschen entspricht. Das Fernrohr, welches er anwandte, besass 24 Fuss Brennweite; die ganze Einrichtung wurde von dem berühmten Mechaniker Graham gemacht. Im November 1725 wurde sie fertig, und am 3. December machte Molyneux damit die erste Beobachtung des Sterns γ im Kopfe des Drachen, welcher unter den, dem Scheitelpunkte von Kew nahe vorbeigehenden Sternen, der hellste ist, und daher nicht nur für näher als andere, also als eine grössere jähr-

liche Parallaxe zeigend, angesehen wurde, sondern auch zu allen Jahreszeiten, auch wenn er am Tage durch den Meridian geht, beobachtet werden konnte. Die zu dem Anfange der Beobachtungen gewählte Zeit war die, wo der Stern sich in dem südlichsten Punkte der Bahn befinden musste, die er während der jährlichen Bewegung der Erde beschreiben sollte. Molyneux setzte seine Beobachtungen an einigen der folgenden Tage fort, um sich ihrer Richtigkeit völlig zu versichern, und verliess sie dann, um sie nach einem halben Jahre zu widerholen, wo der Stern den nördlichsten Punkt seiner Bahn erreicht haben musste. Wenn er eine bemerkbare jährliche Parallaxe besass, so musste ihr doppelter Werth sich durch diese Beobachtungen zeigen. Indessen wiederholte Bradley die Beobachtung am 17. December nocheinmal, und fand zu seiner Verwunderung, dass der Stern noch weiter nach Süden gegangen war, während er das Gegentheil, oder wenigstens einen Stillstand zu finden erwartete. Am 20. überzeugten beide Astronomen sich, dass der Stern fortfuhr, sich nach Süden zu bewegen. Die aufmerksamste Untersuchung des Apparats gab keinen Anlass zum Misstrauen gegen die Beobachtungen; auch war die Regelmässigkeit der Bewegung nach Süden geeignet, jeden Zweifel dieser Art zu zerstreuen. Das Einzige, was zur Aufklärung der gänzlich unerwarteten Erscheinung geschehen konnte, war eine ununterbrochene Fortsetzung der Beobachtungen, und diese führten Molyneux und Bradley gemeinschaftlich aus, bis der

erstere, durch seine Ernennung zum Lord der Admiralität, davon abgezogen wurde. Im März 1726 fand sich der Stern 20″ südlicher, als am Anfange der Beobachtungen, eine Grösse, welche das, was das Instrument mit Sicherheit leisten konnte, zwanzigmal übertraf. Jetzt erst hörte seine südliche Bewegung auf, um sich in eine nördliche zu verwandeln, die ihn, wieder ein Vierteljahr später, in dieselbe Entfernung von dem Scheitelpunkte zurückführte, in welcher er ein halbes Jahr früher, am Anfange der Beobachtungen, gewesen war. Indessen ging die Bewegung nach Norden fort, und am Ende des dritten Vierteljahres befand er sich 39 Secunden nördlicher, als am Ende des ersten. Dann wandte er sich wieder nach Süden, und gelangte am Ende des Jahres wieder dahin, wo er am Anfange gewesen war. Der Stern hatte also eine beträchtliche Veränderung seines Ortes an der Himmelskugel gezeigt, eine viel grössere als die, die man zu entdecken erwartete. Allein diese Veränderung war ganz verschieden von der, die man suchte, denn sie folgte einem ganz verschiedenen Gesetze: während die Parallaxe den Stern am meisten nach Süden bringen musste, war er an seinem mittleren Orte; während sie ihn an diesen bringen musste, war er am südlichsten, und so ging es fort, immer traf eine Erscheinung, welche man erwartete, ein Vierteljahr später ein, als sie eintreffen sollte. Man hatte also etwas ganz anderes gefunden, als das was man suchte. Aber was war das Gefundene?

Bradley und Molyneux bemüheten sich lange vergebens, die Antwort auf diese Frage zu finden. Der Erstere liess noch ein zweites Instrument erbauen, welches weiter von dem Scheitelpunkte entfernt werden konnte, als das ältere, und womit er die Erscheinung an einer weit grössern Zahl von Sternen (etwa 50) beobachten konnte. Die Ausdehnung der räthselhaften Bewegung zeigte sich von dem Orte, wo ein Stern am Himmel steht, abhängig, und gleichfalls hingen die Zeiten, zu welchen sie ihre Grenzen erreichte, davon ab. Er lernte auf diesem, Zeit und Mühe kostenden, aber dadurch auch vor jeder irrigen Ansicht schützenden Wege, die Erscheinung so vollständig kennen, dass es der endlichen Erklärung derselben nicht an den vollgültigsten Beweisen ihrer Richtigkeit fehlen konnte. Nach etwa drei Jahren des angestrengtesten Suchens, im September 1728, fand er diese Erklärung, deren Wesen ich jetzt kurz darzustellen versuchen werde. Wir müssen den Begriff der Richtung, in welcher ein Gegenstand gesehen wird, festhalten: sie wird durch die gerade Linie gegeben, welcher entlang das von dem Gegenstande kommende Licht sich bewegt. Ferner müssen wir uns daran erinnern, dass das Licht nicht augenblicklich den Raum durchdringt, sondern mit einer gewissen, obgleich sehr grossen Geschwindigkeit, so dass es nur 8 Minuten und 13 Secunden Zeit gebraucht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen; dieses wusste Bradley schon, denn Römer hatte es durch die Beobachtung der Wiederkehrzeiten der

Finsternisse der Monde des Jupiters erkannt, die später eintraten, wenn der Planet entfernter, früher wenn er näher war. Offenbar geht die Linie, welcher das Licht von einem festen Sterne entlang läuft, gerade auf den Stern zu, wenn sie ruhet; aber eben so offenbar geht sie nicht auf ihn zu, wenn sie sich selbst bewegt. Denn ein Lichttheilchen, welches sich in diesem Augenblicke am Auge, und damit in der von ihm ausgehenden geraden Linie befindet, ist in einem frühern Augenblicke, als das Auge noch nicht an dem Punkte war, wo es sich jetzt befindet, auch noch ausser der, mit dem Auge bewegten, gerade auf den Stern zugehenden Linie. Der Linie, welcher das Licht entlang laufen soll, welche also die Richtung, in der der Stern erscheint, angeben soll, muss also eine andere, vorwärts bei dem Sterne vorbeigehende Richtung gegeben werden. Der Unterschied zwischen dieser Richtung und der auf den Stern selbst zugehenden, ist offenbar desto kleiner, je kleiner die Geschwindigkeit des Auges und der mit ihm bewegten Richtungslinie, vergleichungsweise mit der fast unermesslichen Geschwindigkeit des Lichtes ist; er ist so gut wie verschwindend für alle Geschwindigkeiten, die auf der Erde hervorgebracht werden können; aber er ist nicht mehr verschwindend, sondern beträgt genau so viel, als Bradley's Beobachtungen ergeben haben, für die copernicanische Geschwindigkeit der Bewegung der Erde selbst, welche uns selbst und die Instrumente, womit wir die Richtungen beobachten, mit sich führt.

Diese scharfsinnige, aber so offenbar richtige Erklärung, dass es der Beobachtungen nicht bedurft hätte, um ihre Nothwendigkeit einzusehen, liess sich leicht mathematisch verfolgen, und führte dadurch zu Vorschriften, wonach der jedesmalige Einfluss der Bewegung der Erde auf die scheinbare Richtung eines Sterns berechnet werden konnte, und hierdurch zeigte sich eine so grosse Uebereinstimmung zwischen dem, was die Erklärung forderte, und dem, was Bradley's Beobachtungen wirklich gezeigt hatten, dass sie die äusserste Bewunderung erregen musste, nicht mehr über die Richtigkeit der als nothwendig erkannten Erklärung, sondern über die Einsicht und Sorgfalt, womit Bradley beobachtet hatte. Indem aber diese Beobachtungen die Aberration des Lichts, wie die entdeckte Erscheinung genannt wurde, ihrer Grösse nach kennen gelehrt hatten, und indem diese Grösse von der Geschwindigkeit des Lichts abhängt, so konnte aus ihren Resultaten auf diese Geschwindigkeit gefolgert, und also eine neue, von einem von dem Römerschen völlig verschiedenen Standpunkte ausgehende Bestimmung derselben erlangt werden. Bradley unterliess nicht, sie zu suchen; allein neuerlich, nachdem die ganze, äusserst zahlreiche Reihe seiner Beobachtungen durch Rigaud's Verdienst an das Licht gefördert war, hat der Observator Busch, von der Königsberger Sternwarte, die Untersuchung mit vermehrten Hülfsmitteln und in grösserer Vollständigkeit wiederholt, und dadurch die Geschwindigkeit des Lichts sicherer bestimmt, als sie, meiner Meinung

nach, durch irgend eine andere, in den seit Bradley verflossenen 100 Jahren angestellte ähnliche Beobachtungsreihe, bestimmt werden kann. Delambre hatte früher, durch neue Untersuchung der Finsternisse der Monde des Jupiters, auch auf dem, von Römer betretenen Wege ein genaueres Resultat gefunden. Beide Resultate stimmen so gut wie völlig überein.

Bradley zog aber noch eine zweite Kenntniss aus seinen Beobachtungen. Sie verriethen noch eine andere, bisher unbekannte, jedoch schon von Newton angedeutete Veränderung der Oerter der Fixsterne, welche nicht, wie die Aberration, in einem Jahre, sondern in 19 Jahren ihre Periode vollendet. Um diese Veränderung vollständig aus seinen Beobachtungen hervorgehen zu lassen, setzte Bradley sie 20 Jahre lang fort. Sie wurde als eine der zahlreichen Wirkungen erkannt, welche die Newton'sche Anziehung in den Bewegungen der Himmelskörper äussert; sie entsteht aus einer langsamen Aenderung der Lage des Aequators der abgeplatteten Erde, welche grösstentheils aus der Anziehung des Mondes hervorgeht; sie ist also einer Schwankung der Ebene des Aequators zuzuschreiben, und hat daher die Benennung Nutation erhalten. Ich habe die Entdeckung der Aberration so ausführlich dargestellt, dass ich Bedenken habe, bei der Nutation länger zu verweilen. Auch darf ich dieses eher unterlassen, weil sie sich nicht, wie jene, mit der Parallaxe der Fixsterne vermischt, welche gleichfalls die jährliche Periode der Aberration besitzt, und deren Hervortreten

also durch diese gänzlich verändert wird. Diese Bradley'schen Entdeckungen sind bei weitem das Wichtigste, was die Frage nach der jährlichen Parallaxe der Fixsterne darbieten konnte; auch wird ihre Beantwortung nur nach dem Vorgange dieser Entdeckungen möglich.

Ich darf nicht unterlassen, anzugeben, was durch Bradley's Entdeckungen gewonnen worden ist. Zuerst ist dadurch ein unmittelbarer Beweis der copernicanischen Lehre gewonnen, ein viel augenfälligerer Beweis, als der hätte sein können, den man durch die, jedenfalls viel kleineren, parallactischen Bewegungen der Fixsterne zu führen hoffen konnte; denn ohne die Bewegung der Erde ist keine Spur von Aberration des Lichts vorhanden, über deren Vorhandensein in sehr merklicher Grösse, Bradley's Beobachtungen nicht den mindesten Zweifel lassen. Dieser Beweis ist so unzweideutig, dass er den eigensinnigsten Anticopernicaner hätte zum Schweigen bringen müssen, wenn noch einer hätte vorhanden sein können, nachdem hinreichende Zeit zum Verständnisse der Newton'schen Lehren verstrichen war. Ferner wurde dadurch die Ueberzeugung gewonnen, dass dieselben Beobachtungen der Sterne, welche vorher unerklärte Unterschiede von ihren mittleren Oertern, von 20 bis 30 Secunden übrigliessen, wirklich in Uebereinstimmung sind; dass man also nun darauf rechnen konnte, aus genauen astronomischen Beobachtungen auch genaue Resultate zu ziehen. Vorher konnte es kein Interesse haben, Genauigkeit der

Beobachtungen zu verschwenden, indem sie nicht zur Uebereinstimmung, also auch nicht zur Sicherheit führen konnte; aber jetzt konnte die Astronomie aufblühen, und jetzt blühte sie auf! Bradley selbst war der Mann, der ihr eine nicht geahndete Vervollkommnung zu geben wusste: ich habe viele Jahre meines Lebens auf die Verarbeitung der uns von ihm hinterlassenen Schätze verwandt, und während der Arbeit steigende Bewunderung seiner Einsicht und seiner Umsicht, hat mir eine Meinung von seinen Verdiensten eingeflösst, welche mir nicht erlaubt, sie hier, wo es nur gelegentlich geschehen könnte, weiter zu erläutern.

Der dritte Gewinn, den Bradley's Entdeckungen lieferten, trifft unsere Aufgabe unmittelbar. Denn, indem seine Beobachtungen durch die Aberration und Nutation vollständig erklärt wurden, liessen sie nichts durch die Parallaxe zu erklärendes übrig, und zeigten also, dass die jährliche Parallaxe der von Bradley beobachteten Sterne noch zu klein ist, um selbst durch so genaue Beobachtungen als die seinigen waren, erkannt werden zu können. Er selbst spricht aus, dass er sie, wenigstens bei den am häufigsten beobachteten Sternen, wohl erkannt haben würde, wenn sie auch nur eine halbe Secunde betrüge; eine Grösse, welche sie schon überschreiten würde, wenn diese Sterne nicht weiter als 400000 Halbmesser der Erdbahn entfernt wären. Ich habe oben versucht, die verschiedenen Grade der Genauigkeit der Beobachtungen an dem Beispiele eines eine Meile entfernten irdischen

Gegenstandes anschaulich zu machen: erinnert man sich daran, so bemerkt man, dass die Sicherheit, welche Bradley seinen Beobachtungen zuschreibt, so gross ist, dass der erwähnte Gegenstand, durch ihre Anwendung von den Endpunkten einer nur $1\frac{3}{5}$ Zoll langen Linie aus, nicht mehr unermesslich entfernt hätte erscheinen können. Da aber selbst diese sehr grosse Genauigkeit der Beobachtungen noch nicht hingereicht hatte, die unzweifelhaft vorhandene jährliche Parallaxe zu verrathen, so konnte die Hoffnung sie zu entdecken, ferner nur, entweder auf noch genauere Beobachtungen gegründet, oder durch die Aussicht, bei anderen Sternen grössere Werthe derselben zu finden, unterhalten werden. Diese Aussicht ging wirklich nicht dadurch verloren, dass die von Bradley beobachteten Sterne ihre jährlichen Parallaxen innerhalb der erwähnten engen Grenze zeigten.

Der nächste Schritt wurde von Herschel, dem Vater, versucht, der die jährliche Parallaxe an den Doppelsternen zu erkennen hoffte. Diese Hoffnung gründete sich auf seine anfängliche Ansicht von der Natur dieser Gestirne. Ihr zufolge sind die beiden, einen Doppelstern zusammensetzenden Sterne, ohne alle gegenseitige Verbindung, und zeigen sich nur sehr nahe bei einander, weil der Punkt, von welchem wir sie sehen, der Richtung von dem einen zu dem anderen nahe ist; die Entfernungen beider von uns sind dann wahrscheinlich sehr verschieden, und ihre Parallaxen sind es also gleichfalls. Hieraus muss eine Veränderung ihrer gegenseitigen Stellung entstehen,

welche durch den Umlauf der Erde um die Sonne erzeugt wird, und deren Bestimmung durch Beobachtungen in verschiedenen Jahreszeiten, zur Kenntniss des Unterschiedes der jährlichen Parallaxe beider Sterne führen muss. Herschel glaubte, eine Veränderung einer an sich so kleinen Grösse, wie die sichtbare Entfernung der beiden Sterne eines Doppelsterns ist, bemerken zu können, selbst wenn sie zu klein sein sollte, als dass andere Beobachtungsarten sie verrathen könnten. Dieser Idee folgend, fing er mit einer planmässigen Aufsuchung der Doppelsterne an; allein diese Aufsuchung war so erfolgreich, dass die bekannt werdende Anzahl derselhen viel zu gross erschien, um ihre Entstehung aus bloss zufälliger Stellung der beiden, jeden derselben zusammensetzenden Sterne noch wahrscheinlich erscheinen zu lassen. Herschel vermuthete nun ihr wirkliches Zusammengehören, ihre wirkliche, nicht bloss scheinbare Nähe bei einander. Auch fand er Mittel, sich zu überzeugen, dass diese Ansicht die richtige war, und gab demzufolge die Ausführung seiner früheren Absicht auf, indem sie, mit der früheren Vorstellung zugleich, ihren Grund verlor. Allein die Doppelsterne erlangten selbstständiges Interesse, und Herschel verfolgte dieses, indem er ihre Aufsuchung fortsetzte, und endlich seine vielbewunderten Verzeichnisse dieser Gestirne lieferte. In der That ist die Verbindung, in welche die Doppelsterne mit unserer Aufgabe gekommen sind, nur eine zufällige; allein ich glaubte, sie in einer Darstellung der Bereicherungen, welche

die Astronomie dieser Aufgabe verdankt, nicht unberührt lassen zu dürfen.

Mehrere neuere Astronomen haben die Aussicht verfolgt, dass der vorzügliche Glanz eines Sterns eine geringere Entfernung andeuten möge, und dass daher Sterne der ersten Grösse deutlichere Spuren der jährlichen Parallaxe verrathen mögen, als die weniger hellen Sterne, welche Bradley bei Gelegenheit der Entdeckung der Aberration beobachtet hatte. Piazzi fand (1805) aus seinen Beobachtungen in Palermo beträchtliche, von 2 Sec. bis 10 Secunden gehende jährliche Parallaxen verschiedener Sterne der ersten Grösse, namentlich Wega, Aldebaran, Sirius und Procyon; für den ersten derselben wurde sein Resultat durch eine Angabe von Calandrelli noch übertroffen, der gleichfalls eigene Beobachtungen darüber in Rom angestellt hatte. So grosse Werthe der jährlichen Parallaxe von Sternen, die zu der Zahl derer gehören, welche auf guteingerichteten Sternwarten ununterbrochen beobachtet werden, hätten sich jedoch diesen fortlaufenden, obgleich anderer Zwecke wegen angestellten Beobachtungen, nicht verbergen können; jedenfalls gaben die vorhandenen Tagebücher der Greenwicher Sternwarte, aus der Zeit, als Bradley ihr Vorsteher war, die Mittel zu einer strengen Prüfung der Piazzi'schen Resultate. Ich habe daher, bald nachdem diese bekannt geworden waren, eine Untersuchung mehrerer Hunderte dieser Beobachtungen der Sterne Sirius, Procyon, Wega und Athair, in der gegenwärtigen Beziehung, ausgeführt, und durch ihr

Resultat gezeigt, dass jährliche Parallaxen derselben von einer Secunde oder mehr, mit ihren Beobachtungen unverträglich sind. Dass die Palermer Bestimmungen hiermit im Widerspruche sind, kann durch den häufigen Gebrauch erklärt werden, den Piazzi von seinen Instrumenten gemacht hat. Man muss sich erinnern, dass die vielen Tausende von Beobachtungen, welche dem grossen Sternverzeichnisse dieses hochverdienten Astronomen zum Grunde liegen, in wenigen Jahren gesammelt worden sind, und dass so häufige Anwendung eines Apparates, von der Sicherheit etwas rauben muss, deren vollständiges Zusammenhalten kaum hingereicht haben würde, über die kleinen Grössen zu entscheiden, welche noch innerhalb der Grenzen des erhobenen Widerspruches liegen. Piazzi selbst erklärt sich auch nicht befriedigt von der Sicherheit seiner Bestimmungen. Calandrelli's Resultat aber beruhete auf einem Instrumente, welches an sich selbst nur geringe Sicherheit gewähren konnte.

Bradley's Greenwicher Beobachtungen liessen also keinen Zweifel darüber, dass die jährlichen Parallaxen auch der vier angeführten Sterne der ersten Grösse, eine Kleinheit besitzen, welche sie unter die Grössen versetzt, über deren wirkliches Vorhandensein, auch sehr genaue Instrumente nur mit grosser Schwierigkeit eine Entscheidung herbeiführen können. Indessen waren diese Instrumente, seit Bradley's Zeit, noch vervollkommnet worden, und im Besitze eines der grössten und schönsten Meridiankreise der neueren Zeit, hoffte Brinkley in Dublin, dadurch

Spuren der jährlichen Parallaxe einiger sehr hellen Sterne entdecken zu können. Wirklich fand er (1815) für Athair eine beträchtliche Grösse derselben, von fast 3 Secunden; für Wega, Deneb und Arcturus eine eine Secunde etwas überschreitende. Wenigstens die erstere dieser Bestimmungen wird aber durch den schon geltend gemachten Widerspruch entschieden getroffen, und auch die übrigen bleiben nicht ohne anderweitigen Widerspruch, den sie durch die gleichzeitigen Beobachtungen des Königlichen Astronomen Pond in Greenwich erfuhren. Allein es ist in der Ordnung, dass das Bewusstsein der Sorgfalt, welche ein Beobachter angewandt hat, um zuverlässige Resultate zu erhalten, ihm Zutrauen zu denselben einflösst: Brinkley misstrauete auch der Richtigkeit der seinigen nicht, sondern vertheidigte sie, in mehreren, zwischen ihm und Pond gewechselten Abhandlungen, deren letzte vom Jahre 1824 ist. Einem Dritten ist die Entscheidung zwischen beiden Astronomen, wenigstens die auf innere, aus ihren Beobachtungen selbst hergenommenen Gründe gestützte, so lange verwehrt, als nicht alle in Betracht kommende Beobachtungen in ihrer ursprünglichen Form, von Dublin aus eben sowohl bekannt gemacht sein werden, als es von Greenwich geschehen ist. Selbst dann aber kann sich die wahre Quelle eines Unterschiedes vielleicht noch verbergen, der so klein hervortritt, dass er an die Grenze streift, über welche hinaus man die Sicherheit der Leistung eines, wenn auch an sich sehr guten Meridian-Instruments, anzuerkennen nicht mehr geneigt sein wird.

Pond's Bemühungen um die jährlichen Parallaxen einiger Fixsterne gründen sich auf zwei verschiedenartige Apparate. Nicht allein die beiden Meridiankreise der Greenwicher Sternwarte (welche unter den vorhandenen ähnlichen Instrumenten die übereinstimmendsten Beobachtungen liefern) hat er dazu benutzt; sondern er hat auch 10 Fuss lange Fernröhre an errichteten Steinpfeilern so befestigt, dass jedes derselben stets auf einen bestimmten Stern, dessen jährliche Parallaxe aufgesucht werden sollte, gerichtet blieb und die kleinen Unterschiede seines Ortes am Himmel, welche aus der Umlaufsbewegung der Erde hervorgehen müssen, durch ein, im Brennpunkte des Fernrohrs angebrachtes Mikrometer gemessen werden konnten. Diese sehr verständig angeordneten Massregeln engten die Grenzen der jährlichen Parallaxen von Wega, Deneb und Athair bis auf einige Zehntel einer Secunde ein, und gaben dadurch einen neuen Beitrag zu ihrer Kenntniss; allein sie reichten dennoch nicht bis zu der wirklichen Bestimmung ihrer Grösse. Hiermit stimmten die ganz neuen Beobachtungen Airy's, des Nachfolgers Pond's, welche für den ersteren der genannten Sterne dasselbe Resultat ergaben.

Durch das Vorige ist der Versuch, die Geschichte unserer Aufgabe darzustellen, bis auf die neueste Zeit geführt worden. Ich bin weit entfernt zu glauben, dass die fortschreitende Vervollkommnung der Beobachtungen, und damit die Vervollkommnung der Wissenschaft selbst, welche sich aus dieser Aufgabe

16

entwickelt haben, nie erlangt worden wären, wenn sie selbst gar nicht hervorgetreten wäre; allein ich kann auch nicht zweifeln, dass sie die Fortschritte der Wissenschaft kräftig beschleunigt hat. Wenn ein Versuch, die Parallaxe eines Fixsterns durch Beobachtungen zu erreichen, erfolglos blieb, so forderte er selbst zu der Schaffung neuer Hülfsmittel auf, welche die Kraft der Beobachtungen vermehren konnten; denn die Ueberzeugung des sicheren Vorhandenseins des Gesuchten nährte die Hoffnung, und erst dann würde sie verschwunden sein, wenn hätte nachgewiesen werden können, dass der zuletzt gethanene fruchtlose Schritt, der äusserste für die menschliche Kunstfertigkeit und die menschlichen Sinne wäre. Dieser Beweis ist aber weder geführt worden, noch kann er geführt werden. Auch jetzt, nachdem die in Greenwich gemachten Erfahrungen die Hoffnung, die jährliche Parallaxe eines Fixsterns zu entdecken, auf Beobachtungen, welche bis auf einen kleinen Theil einer Secunde sicher sind, zurückgewiesen und zugleich die genauesten vorhandenen Meridian-Instrumente als diese Parallaxe noch nicht erreichend gezeigt haben — auch jetzt durfte die Aufsuchung derselben nicht aufgegeben werden, sondern es ging nur hervor, dass sie auf eine andere Art gesucht werden musste. Ich werde versuchen, dieses weiter zu erklären.

Eine Beobachtung ist immer das Resultat verschiedener Vorrichtungen, deren jede nicht absolute Genauigkeit besitzt, sondern sich ihr nur desto mehr nähert, je mehr die Sinne durch den Apparat unter-

stützt werden. Jede derselben wird also Ursache eines Fehlers, und der Gesammtfehler der Beobachtung ist die Summe nicht nur der aus den einzelnen Verrichtungen hervorgehenden Fehler, sondern auch der Einflüsse der Unvollkommenheiten des Apparates selbst. Hat die Beobachtung z. B. die Bestimmung der Entfernung eines Sterns von dem Scheitelpunkte oder dem Pole zum Zwecke, so tragen zu ihrem Fehler bei, nicht nur die Unvollkommenheiten in der Richtung des Fernrohrs auf den Stern und in der Ablesung der diese Richtung angebenden Theilungen, sondern auch die nicht vollkommen wahren Voraussetzungen, dass diese Theilungen genau richtig seien und dass der Apparat durch äussere Einwirkungen, z. B. ungleiche Erwärmung seiner verschiedenen Theile und unregelmässige, zufällige Spannungen seines Metalls, nicht verändert werde, und endlich alle Ursachen, welche die Bestimmung des Scheitelpunktes oder Poles unrichtig machen können. Gelingt es, die Wirkung einer der Fehlerursachen in engere Grenzen einzuschliessen, so wird damit die Beobachtung offenbar genauer; und sie wird noch genauer, wenn sie so angeordnet werden kann, dass dadurch diese Ursache aus der Zahl der zusammenwirkenden gänzlich ausgeschlossen wird.

Nach dieser Bemerkung ist es zunächst die A u s s c h l i e s s u n g eines Theils der Fehlerursachen, welche sich als Mittel darbietet, die Genauigkeit der Beobachtungen zu vermehren, aus welchen die jährliche Parallaxe eines Fixsterns abgeleitet werden soll. Da

ihre Entdeckung nur auf der Beobachtung der im Laufe des Jahres vor sich gehenden Veränderungen der Oerter des Sterns an der Himmelskugel beruhet, und es zu ihrer Erkennung gleichgültig ist, in Beziehung auf welchen festen Punkt man diese Veränderungen beobachtet, so kann man sie ebensowohl auf einen anderen Fixstern, als auf den Scheitelpunkt oder Pol beziehen. Bezieht man sie aber auf einen Stern, der sehr nahe bei dem der Untersuchung zu unterwerfenden steht, so befreit man dadurch die Beobachtungen nicht allein von allen den Fehlerursachen, welche auf die Verwandlung der unmittelbaren Angaben eines Instrumentes in Entfernungen von dem Scheitelpunkte oder Pole Einfluss erhalten, sondern man kann sie auch durch ein Instrument beobachten, welches ausschliesslich zur Erfindung der gegenseitigen Stellung einander sehr naher Gestirne eingerichtet ist und durch diese Beschränkung Anspruch auch auf andere Vorzüge erhält, welche einem zu allgemeineren Gebrauche bestimmten Instrumente nicht gegeben werden können.

Durch mikrometrische Vergleichungen eines Sterns mit einem andern ihm sehr nahe erscheinenden, konnte man also noch hoffen, seine Parallaxe, obgleich sie sich anderen Beobachtungsarten entzogen hatte, hervortreten zu sehen. Man konnte überdies die Grösse des Fernrohrs, welches den mikrometrischen Apparat besitzt, nach Belieben vermehren, indem die sie beschränkende Bedingung, dass es ein Theil eines Meridian-Instruments sein solle, nicht mehr berück-

sichtigt zu werden brauchte; auch konnten durch das Mikrometer kleinere Theile gemessen werden, als durch die Theilung des letzteren Instruments. Allein alle diese Vortheile sind erst in neuerer Zeit wirklich erlangt worden. Fraunhofer hat das Verdienst, grössere Fernröhre zuerst so eingerichtet und aufgestellt zu haben, dass der Vortheil des mikrometrischen Messens nicht mehr durch früher damit verbundene Nachtheile überwogen wurde; durch Nachtheile, welche sich so gross zeigten, dass man diese Art des Messens als ganz unzuverlässig betrachtete, und, statt den grossen Nutzen, den sie versprach, daraus zu ziehen, sie sogar durch die längsten Umwege vermied. Der genannte grosse Optiker hat zwei Instrumente verfertigt, welche zu den feinsten mikrometrischen Messungen geeignet sind; nämlich das grosse Fernrohr, welches durch den häufigen und wichtigen Gebrauch, den Struve davon gemacht hat, nicht nur seine Kraft gerechtfertigt, sondern auch der Astronomie die herrlichsten Früchte gebracht hat; und ferner das grosse Heliometer, welches sich auf der Königsberger Sternwarte befindet, und dessen Wesentliches darin besteht, dass es auch Messungen grösserer Winkel, bis zu fast einem Grade hin, mit demselben Vortheile liefert, welchen ein mit einem Mikrometer versehenes Fernrohr von gewöhnlicher Art nur bei viel kleineren Winkeln hervorbringen kann. Das erstere Instrument ist später, in der Münchener optischen Anstalt, noch einigemale ausgeführt worden; das andere ist ausser Königsberg noch nicht in Anwendung gekommen.

Struve hat nicht unterlassen, die Vervollkommnung der mikrometrischen Messungen zu benutzen, um dadurch ein Urtheil über die Grösse der jährlichen Parallaxe des hellen Sterns Wega in der Leyer zu erlangen. Dieser Stern hat in seiner Nähe, in nur 43 Secunden Entfernung, einen kleinen Gefährten, ohne desshalb ein eigentlicher, aus wirklich zusammengehörigen Sternen bestehender Doppelstern zu sein. Herschel der Sohn und South haben dieses durch die kleine eigene Bewegung gezeigt, welche der grosse Stern besitzt, aber der kleine nicht theilt; sie haben ihn also der anfänglichen Ansicht, welche der ältere Herschel von den Doppelsternen hatte, entsprechend erkannt. Hierdurch eignet sich der Stern zu der Ausführung des oben erwähnten Versuches, welchen Herschel auf die Doppelsterne gründen wollte. Struve's grosses Werk über die Messungen dieser Sterne, enthält den Anfang einer Beobachtungsreihe über die gegenseitigen Stellungen des Sterns Wega und seines Gefährten; zugleich auch das Versprechen, diesen Anfang fortsetzen zu wollen und die Aeusserung der Hoffnung, dass sich eine jährliche Parallaxe von einem Zehntel einer Secunde, den mikrometrischen Messungen nicht verbergen werde. — Der bekannt gewordene Anfang enthält 17 Messungen, zwischen dem 3. Novbr. 1835 und dem Ende 1837 angestellt, welche Zahl noch zu gering ist, um darauf ein sicheres Urtheil gründen zu können; die Fortsetzung, welche Struve schon ausgeführt hat, ist noch nicht bekannt geworden. Allein schon der Anfang lässt keinen

Zweifel darüber, dass die jährliche Parallaxe bei weitem nicht so gross ist, als Brinkley aus seinen Beobachtungen folgerte (s. oben).

Als ich die Genauigkeit kennen lernte, welche das am Ende von 1829 aufgestellte, grosse Heliometer der Königsberger Sternwarte den Beobachtungen geben kann, nährte sie die Hoffnung, dass es durch dieses Instrument endlich gelingen werde, die den bisherigen Versuchen, trotz ihrer mit der Zeit wachsenden Genauigkeit, sich hartnäckig entziehende jährliche Parallaxe der Fixsterne, in günstigen Fällen, zu erreichen. Mein verehrter Freund Olbers forderte mich wiederholt zu dem Versuche auf. Allein in den ersten Jahren nach der Aufstellung des Instruments waren dringende Anwendungen desselben vorhanden, und es schien mir nicht angemessen, eine auf die Entdeckung der jährlichen Parallaxe eines Fixsterns gerichtete Beobachtungsreihe anzufangen, wenn sie nicht wenigstens ein Jahr lang ununterbrochen fortgesetzt und während dieser Zeit allen anderen Beobachtungen, insofern eine gegenseitige Störung eintrat, vorgezogen werden konnte. Bald darauf forderten andere Arbeiten, während mehrerer Sommer, meine Abwesenheit von der Sternwarte; selbst ein im Herbste 1834 gemachter Anfang blieb ohne Folge, und erst im August 1837 konnte ich einen neuen Anfang machen, dessen Verfolgung bis zum Anfange des Octobers 1838, mir die Beobachtungen geliefert hat, welche die Veranlassung meiner gegenwärtigen Mittheilung sind.

Zum Zwecke dieser Beobachtungen habe ich die

jährliche Parallaxe des 61. Sterns des Schwans gemacht, eines kleinen, dem blossen Auge kaum sichtbaren Sterns, der aber nichtsdestoweniger für den nächsten, oder einen der nächsten von allen Fixsternen gehalten werden kann und dadurch Anspruch auf vorzugsweise Wahl erhält. Es ist seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts bekannt, dass mehrere Fixsterne eigenthümliche, stetig fortschreitende Bewegungen an der Himmelskugel zeigen, welche ihre Stellungen gegen benachbarte Sterne verändern und endlich die Gruppen, in welchen sie erscheinen, gänzlich umgestalten werden. Diese eigenen Bewegungen der Fixsterne wurden ungleich vollständiger und genauer bekannt, als im J. 1818 die Resultate aller Beobachtungen derselben, welche Bradley zwischen 1750 und 1762 auf der Sternwarte in Greenwich gemacht hatte, und ihre Vergleichung mit dem grossen Piazzischen Sternverzeichnisse, an das Licht traten. Hieraus ergab sich, dass fast die Hälfte aller, in beiden Verzeichnissen zugleich enthaltenen Sterne (deren Anzahl 2959 ist) eine, ein Zehntel einer Secunde erreichende oder überschreitende jährliche eigene Bewegung besitzt. Kleine Sterne zeigten sie ebensowohl wie grosse, und unter 71 Sternen, deren jährliche eigene Bewegungen ich eine halbe Secunde überschreitend fand, sind nur vier, welche die erste Grösse besitzen. Unter den häufigen Sternen, deren eigene Bewegungen merklich sind, sind vier, bei welchen sie eine ungewöhnliche Grösse erreichen, nämlich der helle Stern Arcturus und die Sterne der 5. bis 6. Grösse μ der

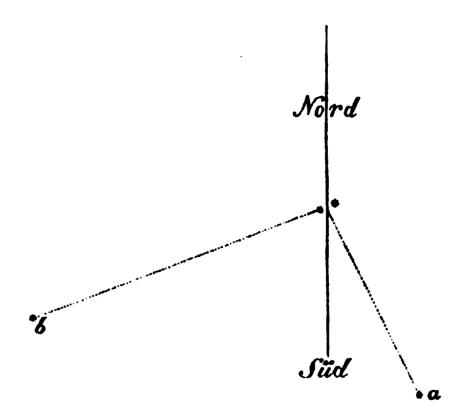
Cassiopeja, d des Eridanus und 61 des Schwans. Der letztere besitzt die grösste von allen eigenen Bewegungen, welche sich unter den Fixsternen gezeigt haben; sie beträgt jährlich mehr als 5 Secunden. Diese eigenen Bewegungen sind offenbar Folgen von Ortsveränderungen, welche entweder die Sterne selbst, oder unser Sonnensystem erfahren, wahrscheinlich von beiden zugleich. Sie mögen aber aus der einen, oder der anderen dieser Ursachen entstehen, so wird klar, dass ein Stern, der eine gewisse Grösse und Richtung seiner auf unser Sonnensystem bezogenen Bewegung besitzt, ein desto grösseres Fortschreiten an der Himmelskugel zeigen muss, je kleiner seine Entfernung ist. Man kann zwar diesen Schluss nicht umkehren und also auch nicht behaupten, dass die Entfernung eines Sterns desto kleiner sei, je grösser sein Fortschreiten an der Himmelskugel ist; allein in gänzlicher Ermangelung eines untrüglichen Grundes, den einen Fixstern für näher zu halten als einen anderen, mag man dem Anzeichen von Nähe, welches eine grosse eigene Bewegung giebt, folgen, indem man die Wahl des Sterns trifft, welcher der Gegenstand einer Untersuchung über die jährliche Parallaxe werden soll. Auch scheint dieses Anzeichen weniger trüglich zu sein, als die Helligkeit eines Sterns, welche, wenn man die Entfernung der Planeten unseres Sonnensystems darnach beurtheilen wollte, bekanntlich ein gänzlich unrichtiges Urtheil geben würde. Als ich die grosse eigene Bewegung des 61. Sterns des Schwans (1812) aus Bradley's Beobachtungen er-

kannte, hob ich die Aussicht hervor, seine jährliche Parallaxe grösser zu finden, als die fruchtlos gesuchten jährlichen Parallaxen anderer Sterne. Dieser Aussicht sind Arago und Mathieu gefolgt, indem sie die Entfernungen des Sterns vom Scheitelpunkte, im August und November 1812 beobachtet haben. Eine kurze Nachricht hiervon hat der erstere 1834 bekannt gemacht, und man sieht daraus, dass diese Beobachtungen einer jährlichen Parallaxe von einer halben Secunde günstig waren. Ich selbst bin ihr 1815 und 1816 gleichfalls gefolgt, aber ohne ein annehmbares Resultat zu erhalten. Der Apparat, den ich damals anwenden konnte, war zu der Bestimmung einer so kleinen Grösse, als die jährliche Parallaxe dieses Sterns sich jetzt gezeigt hat, sicher ungenügend. Welches Gewicht das Resultat des in Paris gemachten Versuches besitzt, kann ich nicht sagen, weil in der kurzen Nachricht darüber nichts angeführt ist, was ein Urtheil begründen könnte; über das was dieselbe Beobachtungsart in anderen Fällen geleistet hat, wird man am Ende dieses Aufsatzes eine Angabe finden.

Wegen seiner grossen eigenen Bewegung also, habe ich den 61. Stern des Schwans zum Gegenstande meiner gegenwärtigen Beobachtungen gewählt. Er erscheint aber noch aus anderen Gründen besonders geeignet dazu: er steht an einem Orte der Himmelskugel, welcher in Königsberg immer über dem Horizonte bleibt und zu allen Jahrszeiten, einen Monat ausgenommen, bei Nacht in eine Höhe gelangt, in welcher der nachtheilige Einfluss nicht mehr störend

ist, den die Nähe des Horizonts auf das Sehen, und folglich auch auf die Genauigkeit der Beobachtungen, äussert; er ist ferner ein Doppelstern, den ich mit grösserer Genauigkeit als einen einzelnen Stern beobachten zu können glaubte; er ist endlich von vielen kleinen Sternen umgeben, unter denen man Vergleichungspunkte nach Belieben auswählen konnte.

Meine Beobachtungen sind Messungen der Entfernungen des in der Mitte zwischen beiden Sternen des Doppelsterns liegenden Punktes, von zwei Sternen der 9. bis 10. Grösse, welche sich in seiner Nähe finden, und welche ich *a* und *b* nennen werde. Die beigedruckte Figur zeigt die gegenseitige Lage des Doppelsterns und dieser beiden kleinen Sterne; die beiden Sterne des ersteren sind aber, zur Vermehrung der Deutlichkeit, noch einmal so weit voneinander entfernt gezeichnet, als sie, vergleichungsweise mit den letzteren wirklich sind, der auf der rechten Seite stehende ist etwas heller als der andere.



Um verständlich zu machen, wie die Entfernungen der Sterne *a* und *b* von der Mitte des Doppelsterns gemessen werden konnten, muss ich an das Prinzip des Heliometers erinnern. Das Wesentliche eines Instruments dieser Art ist, dass das Objektivglas seines Fernrohrs in zwei Hälften zerschnitten ist, deren jede, in der Richtung des Durchschnittes, verschoben werden kann, während beide zusammen um die Axe des Fernrohrs gedreht werden können, so dass man die Durchschnittslinie dadurch in jede beliebige Richtung bringen kann. Jede Hälfte des Objektivs zeigt eben sowohl ein Bild des Gegenstandes, auf welches man das Fernrohr richtet, als das nicht zerschnittene Objektiv es gezeigt haben würde, allein ein nur halb so helles. Beide Bilder fallen offenbar zusammen, wenn die beiden Hälften so gestellt werden, dass ihre Mittelpunkte zusammenfallen, so dass sie ein ganzes Objektiv bilden; aber sie entfernen sich eben so weit voneinander, als man die Mittelpunkte der beiden Hälften auseinander verschiebt. Die Messung der Grösse der Verschiebung giebt also das Mass der Grösse der Entfernung der beiden Bilder; und wenn das Instrument so eingerichtet ist, dass es die erstere mit grosser Genauigkeit angiebt, so folgt die letztere daraus mit derselben Genauigkeit. Man misst also mit dem Heliometer auch die Entfernung zweier Punkte von einander, indem man die Durchschnittslinie der beiden Objektivhälften in die durch beide Punkte gehende Richtung bringt, und dann eine dieser Hälften so weit verschiebt, dass das von ihr gemachte Bild

des einen Punkts, mit dem von der anderen Hälfte gemachten des anderen zusammenfällt. Bei meinen Messungen der Entfernung entweder des einen oder des anderen der Sterne *a* und *b*, von dem Punkte in der Mitte zwischen beiden Sternen des Doppelsterns, wurde also das Bild, welches die eine Objektivhälfte von jenem gab, in diese Mitte des von der anderen gegebenen Bildes dieser beiden Sterne gebracht, so dass man noch einen kleineren Stern, in der Mitte der beiden helleren des Doppelsterns sah. Die Empfindlichkeit des Auges ist am grössten, wenn sie zur Beurtheilung der Gleichheit der Entfernungen eines mittleren Punktes von zwei äusseren, einander sehr nahen Punkten angewandt wird. Man kann also die Entfernung eines Sterns von der Mitte zweier Sterne eines Doppelsterns genauer messen, als von einem einzelnen Sterne.

Was fortgesetzte Messungen der Entfernung des Sterns 61 (der Mitte) von jedem der beiden, zu seiner Vergleichung gewählten Sterne *a* und *b*, über die jährliche Parallaxe lehren können, geht aus der (pag. 213) gegebenen Entwickelung der Erscheinung, welche sie verursacht, hervor. Der Stern 61 bewegt sich an der Himmelskugel in einer Ellipse, deren Figur durch seine Lage gegen die Ebene der Erdbahn bestimmt ist, und deren grösster Durchmesser das Doppelte seiner jährlichen Parallaxe ist; auch der Vergleichungsstern beschreibt eine Ellipse von derselben Figur, aber in dem Verhältnisse kleiner, in welchem seine jährliche Parallaxe kleiner ist als die

von 61; beide Sterne durchlaufen ihre Ellipsen auf gleiche Art, oder sie befinden sich immer an ähnlich liegenden Punkten derselben. Ihre scheinbare Entfernung erfährt also die Veränderungen, welche aus dem Unterschiede der Grössen beider Ellipsen hervorgehen; und wenn man, umgekehrt aus der beobachteten Grösse der Veränderungen, die Grösse der jährlichen Parallaxe ableitet, so ist das was man findet der Unterschied der jährlichen Parallaxen beider Sterne. — In dieser Darstellung habe ich nicht der Aberration gedacht, obgleich sie beide Sterne, im Laufe des Jahres, weit stärker als die kleine jährliche Parallaxe, an der Himmelskugel bewegt. Sie würde offenbar gar keinen Einfluss auf die Entfernung beider Sterne haben, wenn sie beiden genau gleiche Bewegungen an der Himmelskugel gäbe; allein die Bewegung, welche sie einem Sterne giebt, hängt von dem Orte ab, den er an der Himmelskugel einnimmt, und da dieser Ort des Sterns 61 und der Ort des Vergleichungssterns zwar einander sehr nahe (von *a* nur 7 Min. 22 Sec. entfernt, von *b* nur 11 Min. 46 Sec.) sind, jedoch nicht völlig zusammenfallen, so ist wirklich ein kleiner Unterschied der Aberrationen vorhanden, der einen kleinen Einfluss auf die Entfernungen erhalten muss, aber durch Rechnung leicht bestimmt wird, also keine Schwierigkeit erzeugt. Ferner habe ich des Einflusses nicht gedacht, welchen die eigene Bewegung des Sterns 61 auf die Entfernung erhält. Er besteht offenbar in einer sehr nahe gleichförmigen Veränderung derselben, deren Grösse

man berechnen kann, wenn man die eigene Bewegung des Sterns kennt. Hierdurch kann man alle, im Laufe der Zeit gemachten Messungen der Entfernung, auf die Werthe zurückführen, welche man gemessen haben würde, wenn der Stern 61 unverändert an dem Orte geblieben wäre, wo er sich zu einer bestimmten Zeit, z. B. am Anfange des Jahres 1838, befand.

Das eben Gesagte erläutert, wie aus fortgesetzten Messungen der Entfernung des Sterns 61 von einem jeden der Vergleichungssterne, ein Urtheil über den Unterschied der beiden jährlichen Parallaxen hervorgehen muss. Einer der Vergleichungssterne wäre also schon hinreichende Grundlage der Untersuchung gewesen, allein ich habe deren zwei gewählt, um zwei von einander unabhängige Resultate zu erhalten, welche sich gegenseitig entweder bestätigen oder verdächtig machen konnten. Ich habe diese Beobachtungen am 16. Aug. 1837 angefangen, und aus ihrer Fortsetzung bis zum 2. October 1838 die Resultate gezogen, welche ich jetzt mittheilen werde. In dieser Zwischenzeit sind 85 Vergleichungen des Sterns 61 mit dem Sterne *a*, und 98 mit dem Sterne *b* gelungen. Jede derselben ist das mittlere Resultat mehrerer, gewöhnlich 16, in jeder Nacht gemachten Wiederholungen der Messung, so dass sie die nicht weiter vermeidlichen Unvollkommenheiten des Sehens mit dem Fernrohre, verkleinert enthält. — Ich zweifle nicht, dass fortgesetzte Vergleichungen dieser Art, wenn ihre Genauigkeit durch kein äusseres Hinderniss litte, die jährliche Parallaxe verrathen würden,

selbst wenn sie den zehnten Theil einer Secunde nicht überschritte; aber das äussere Hinderniss fehlt selten, denn selten fehlt das Zittern der Luft, welches die Bilder im Fernrohre undeutlich macht und sie überdies nicht ruhig, sondern hin- und herschwankend zeigt. Dieser, wenigstens in Königsberg, gewöhnliche Zustand der Luft, setzt der zu erlangenden Sicherheit eine Grenze; man kann sie, durch Abwarten des günstigsten Zustandes nicht überschreiten, weil dieser gar zu selten, im Winter und im hohen Sommer fast nie, eintritt.

Als ich indessen alle gemachten Beobachtungen, durch Rechnung von den Einflüssen befreiet hatte, welche die Aberration und die eigene Bewegung des Sterns 61 auf die Entfernungen äusserten, zeigten sich sehr deutlich Veränderungen derselben, welche demselben Gesetze folgten, nach welchem eine jährliche Parallaxe des Sterns 61, seine Entfernungen, sowohl von dem Sterne *a* als von dem Sterne *b*, im Laufe des Jahres verändern musste. Die Parallaxe forderte, dass die Entfernung von *a* am Anfange des Jahres am kleinsten, in seiner Mitte am grössten, erscheine, so wie die Entfernung von *b* in der Mitte des April am kleinsten und in der Mitte des October am grössten. Die Beobachtungen beider Sterne zeigten wirklich Veränderungen der Entfernungen, welche mit dieser Forderung übereinstimmten; auch war ihre Anzahl zu gross, als dass man noch hätte fürchten dürfen, dass ihre Uebereinstimmung mit der Forderung, nur durch ihre eigenen, zufälligen Unvoll-

kommenheiten erzeugt sein mögte. Es waren also deutliche Spuren der jährlichen Parallaxe vorhanden, und indem ich diese verfolgte, musste ich zu ihrer Bestimmung gelangen.

Ich habe zuerst die Vergleichungen des Sterns 61 des Schwans mit *a* und mit *b* abgesondert verfolgt, und dadurch gefunden, dass den Beobachtungen am vollkommensten Genüge geleistet wird, wenn man den Unterschied der jährlichen Parallaxen der Sterne 61 und *a* 37 Hundertel einer Secunde gross annimmt; der Sterne 61 und *b* aber 26 Hundertel einer Secunde. Obgleich die Beobachtungen hierdurch zu zeigen scheinen, dass der Stern *b* selbst eine bemerkbare jährliche Parallaxe besitzt, so bin ich doch keineswegs geneigt, ihnen eine so grosse Sicherheit zuzutrauen, dass ich dieses Resultat für unzweifelhaft ansehen mögte. Sie müssen beträchtlich länger fortgesetzt werden, ehe man als entschieden betrachten darf, dass der gefundene kleine Unterschied von 11 Hunderteln einer Secunde, nicht aus einer zufälligen Anhäufung ihrer eigenen Unvollkommenheiten entstanden ist. Obgleich der Schluss von der geringen Helligkeit der Sternchen *a* und *b*, auf ihre so grosse Entfernung, oder ihre so kleine jährliche Parallaxe, dass diese gänzlich unmerklich ist, eben so wenig als sicher betrachtet werden darf, so halte ich doch der jetzigen Ausdehnung der Beobachtungsreihe angemessen, ihn zu verfolgen, und daher aus dem Zusammennehmen der Vergleichungen des Sterns 61 mit beiden Sternen *a* und *b*, ein mittleres, auf der Voraussetzung der

Unmerklichkeit der jährlichen Parallaxen der letzteren Sterne beruhendes Resultat für die jährliche Parallaxe des ersteren zu suchen. Dieser Ansicht bin ich gefolgt und habe dadurch die jährliche Parallaxe des 61. Sterns des Schwans etwas grösser als 31 Hundertel einer Secunde gefunden.

Es ist aber nie hinreichend, dass das Resultat einer Beobachtungsreihe, seiner Grösse nach angegeben werde: indem die Natur aller Beobachtungen mit sich bringt, dass sie nur Näherungen an die Wahrheit sind, ist auch ihr Resultat nur eine Näherung an die Wahrheit, und das Urtheil über seinen Werth kann nur durch eine Untersuchung der Grenzen erlangt werden, über welche hinaus es sich wahrscheinlich nicht von der Wahrheit entfernt. Je genauer und zahlreicher die Beobachtungen, durch welche das Resultat gegeben wird, sind, desto weniger entfernen sich die Grenzen seiner wahrscheinlichen Unrichtigkeit von der Wahrheit. Der Beobachter kann, durch zweckmässige Anordnung seiner Beobachtungsreihe und durch aufmerksame Berücksichtigung aller Eigenthümlichkeiten seines Apparats, welche, wenn sie unberücksichtigt blieben, Unzuverlässigkeiten erzeugen würden, dahin gelangen, dass er die Unvollkommenheiten der Beobachtungen in ihren kleinsten Umfang zurückführt; wie gross dieser Umfang aber ist, kann immer nur durch den letzten Erfolg, nämlich durch die Beobachtungen selbst, erkannt werden. Die Grösse der Abweichungen der einzelnen Beobachtungen von dem Resultat aus allen, führt immer zur Kenntniss des Grades von

Vertrauen, welchen sie verdienen: sie bestimmt die mittlere Grösse des Fehlers einer einzelnen Beobachtung, und durch die Verfolgung dieser Bestimmung kann die mittlere Grösse des Fehlers des Resultats erkannt werden. Eine Untersuchung dieser Art, der von mir gemachten Vergleichungen des Sterns 61 mit beiden Sternen *a* und *b*, hat gezeigt, dass eine einzelne Vergleichung, jenachdem sie sich auf den ersteren, oder den letzteren bezieht, einen mittleren Fehler von 13 Hunderteln, oder von 16 Hunderteln einer Secunde besitzt. Die Vergleichungen mit dem Sterne *b* sind daher etwas weniger genau, als mit dem Sterne *a*, wovon der Grund in der Verschiedenheit der Lage beider Sterne gegen die Richtungslinie der beiden Sterne des Doppelsterns zu liegen scheint. Das angeführte, auf der Verbindung der Beobachtungen beider Sterne beruhende Resultat für die jährliche Parallaxe des Sterns 61, ist mit Rücksicht auf diese Verschiedenheit der Genauigkeit der Beobachtungen beider, erlangt worden, und die weitere Verfolgung derselben hat ergeben, dass sein mittlerer Fehler auf zwei Hundertel einer Secunde geschätzt werden kann.

Man kann keineswegs behaupten, dass jede Beobachtung bis auf den mittleren Fehler der Beobachtungen der Reihe, wozu sie gehört, richtig ist; vielmehr bringt der Begriff des mittleren Fehlers es mit sich, dass er einen Theil der vorkommenden Fehler überschreitet und von einem anderen Theile derselben überschritten wird. Allein dennoch giebt er eine Vorstellung von dem Grade der Sicherheit der Beobachtung.

Fehler, welche kleiner sind als der, den ich hier den mittleren genannt habe, finden sich, wenigstens im Allgemeinen, häufiger als grössere; oder die Wahrscheinlichkeit, dass eine Beobachtung weniger von der Wahrheit abirrt, ist grösser als die Wahrscheinlichkeit, dass sie mehr abirrt; mit der Grösse der Abirrung nimmt ihre Wahrscheinlichkeit so schnell ab, dass das Vorkommen eines, den mittleren beträchtlich überschreitenden, z. B. doppelt oder dreimal so grossen Fehlers, schon als sehr wenig wahrscheinlich angesehen werden muss. Genau so verhält es sich mit dem mittleren Fehler eines, aus Beobachtungen gezogenen Resultats: auch dieser ist nicht etwa eine Grenze, welche sein wirklicher Fehler nicht überschreiten kann, allein es ist unwahrscheinlich, dass sie von ihm beträchtlich überschritten werde. In dem Falle der jährlichen Parallaxe des 61. Sterns des Schwans, kann also auch nicht behauptet werden, dass ihr gefundener Werth von 31 Hunderteln einer Secunde, bis auf ihren, gleichfalls gefundenen, mittleren Fehler von zwei Hunderteln einer Secunde sicher sei; aber wahrscheinlich ist ein grösserer Fehler nicht, und ein beträchtlich grösserer ist sehr unwahrscheinlich; ein so grosser, dass die Bemerkbarkeit der jährlichen Parallaxe dadurch zweifelhaft würde, besitzt einen Grad von Unwahrscheinlichkeit, den man mit gänzlicher Verneinung gleichzuachten gewohnt ist.

Es ist also nicht mehr zu bezweifeln, dass die Beobachtungen endlich über die Grenze hinausgeführt

haben, welche sie überschreiten mussten, damit die Entfernung eines Fixsterns von dem Unermesslichen in das Messbare übergehen konnte. Nimmt man die gefundene Grösse der jährlichen Parallaxe des 61. Sterns des Schwans (genauer 0″,3136) als den wahren Werth derselben an, so folgt daraus seine Entfernung von der Sonne = 657700 Halbmessern der Erdbahn. Das Licht gebraucht etwas über 10 Jahre, um diese grosse Entfernung zu durchlaufen. Sie ist so gross, dass sie nur begriffen, nicht aber versinnlicht werden kann. Alle Versuche sie anschaulich zu machen, scheitern entweder an der Grösse der Einheit wodurch sie gemessen werden soll, oder an der Grösse der Zahl der Wiederholungen der Einheit. Die Entfernung, welche das Licht in einem Jahre durchläuft, ist nicht anschaulicher als die, die es in zehn Jahren zurücklegt; wählt man dagegen eine anschauliche Einheit, z. B. die Entfernung von 200 Meilen, welche ein Dampfwagen täglich durchlaufen kann, so muss man 68000 Millionen solcher Tagereisen, oder fast 200 Millionen Jahresreisen, zur Angabe der Entfernung des Sterns machen. — Aber jede Bemühung, eine Grösse zu versinnlichen, welche die auf der Erde zugänglichen weit überschreitet, verfehlt ihren Zweck und artet in das Kindische aus.

Indessen ist der Verstand nicht an die Grenzen des Anschaulichen gebunden, und grosse Zahlen wie kleine, können weiteren Folgerungen zum Grunde gelegt werden. Auf die gefundene Entfernung des 61. Sterns des Schwans kann man einige Folgerungen

gründen, welche ich kurz erwähnen werde. Der Stern zeigt, wie ich oben schon gesagt habe, eine fortschreitende Bewegung am Himmel, von mehr als 5 Secunden jährlich, welche aus seiner, beziehungsweise zu der Sonne stattfindenden Bewegung im Weltraume hervorgeht; ob diese Bewegung dem Sterne, oder der Sonne, oder beiden zugleich, eigenthümlich ist, weiss man zwar nicht, doch ist das letztere das Wahrscheinlichere. Eben so wenig weiss man, in welcher Richtung gegen die Gesichtslinie nach dem Sterne, diese beziehungsweise Bewegung vor sich geht; ob sie diese Linie senkrecht durchschneidet oder einen mehr oder weniger spitzen Winkel mit ihr macht. Man erklärt sie aber durch die kleinste wahre Bewegung, durch welche sie erklärt werden kann, wenn man das erstere annimmt. Man weiss also, dass die beziehungsweise jährliche Bewegung beider Gestirne nicht kleiner sein kann, als eine Linie, welche in der angegebenen Entfernung des Sterns so gross erscheint als sein jährliches Fortschreiten an der Himmelskugel von 5 Secunden: diese Linie ist 16 Halbmesser der Erdbahn lang, welche demnach die kleinste Grenze der beziehungsweisen jährlichen Bewegung beider Gestirne sind. Während eines Tages beträgt diese Grenze der Bewegung etwa eine Million Meilen, etwa dreimal so viel als die Copernicanische Umlaufsbewegung der Erde um die Sonne. Wenn die beziehungsweise Bewegung allein eine Bewegung der Sonne ist, so geht aus ihrer angegebenen kleinsten Grenze hervor, dass die gewöhn-

liche Vorstellung der Ruhe der Sonne im Weltraume beträchtlich geändert werden muss; wenn aber auch der Stern, wahrscheinlich, Antheil daran hat, so ist doch nicht zu vermuthen, dass dieser gross genug wäre, um die Folgerung im Wesentlichen zu ändern. Diese Bewegung der Sonne und des ganzen Planetensystems hat indessen gar keinen Einfluss auf die Erscheinungen, welche die zu diesem Systeme selbst gehörenden Körper zeigen.

Die bekannt gewordene Entfernung des 61. Sterns des Schwans führt auch zu einer Kenntniss der Menge von körperlichen Theilen, welche er enthält, oder zu einer Vergleichung seiner Masse mit anderen bekannten Massen, z. B. der Masse der Sonne. Da er ein Doppelstern ist und die beiden ihn zusammensetzenden Sterne nur durch eine gemeinschaftliche Umlaufsbewegung um einen zwischen ihnen liegenden Punkt, vor der Vereinigung miteinander geschützt werden können, so ist eine solche Bewegung nothwendig vorhanden und zeigt sich auch wirklich in den gegenseitigen Stellungen der beiden Sterne, welche seit Bradley's Zeit beobachtet worden sind: im Jahre 1753 erschien der kleinere Stern noch nicht in nordöstlicher Richtung von dem grösseren, ging aber dann durch Nordosten und Osten und befindet sich gegenwärtig schon merklich südlich von dem letzteren. Die weitere Entwickelung dieser Bewegung im Laufe der Zeit, wird zeigen, dass die scheinbare Bahn, welche beide Sterne, beziehungsweise aufeinander, an der Himmelskugel beschreiben, eine Ellipse ist, deren

Figur und Grösse, so wie auch die Umlaufszeit, aus den Beobachtungen hervorgehen werden. Indem man die Entfernung des Sterns von uns kennt, kann man aus der scheinbaren Grösse der Bahn auf ihre wahre Grösse schliessen, und aus der Vergleichung der letzteren mit der Umlaufszeit, das Urtheil über die Grösse der Kraft, womit beide Sterne des Doppelsterns sich gegenseitig anziehen, ebensowohl erlangen, als man das ähnliche in dem Falle eines von einem Satelliten begleitenden Planeten erlangt. Man wird also die, dieser Kraft verhältnissmässige Summe der Massen der beiden Sterne, oder die ganze Masse des Doppelsterns erfahren. Für jetzt kann aber diese Bestimmung noch nicht mit Sicherheit erlangt werden, indem der seit Bradley durchlaufene Theil der scheinbaren Bahn noch nicht gross genug ist, um daraus auf die wahre Bahn schliessen zu können; man kann nur daraus erkennen, dass die Umlaufszeit nicht kürzer ist als sechstehalb Jahrhunderte, und dass der grösste Halbmesser der Bahn sich nicht kleiner zeigen wird als 15 Secunden. Diese Grenzen auf einer Seite, sind allerdings noch nicht hinreichend zu einer Bestimmung der Masse des Doppelsterns; allein sie machen wahrscheinlich, dass diese nicht beträchtlich kleiner oder grösser ist als die Hälfte der Masse unserer Sonne. Man wird hierdurch berechtigt, die Sonne, vergleichungsweise mit dem 61. Sterne des Schwans, weder für einen besonders grossen, noch für einen besonders kleinen Körper zu halten; vielmehr ist dieser erste Fall, in welchem eine Vorstel-

lung von der Grösse der Masse eines Fixsterns erlangt werden konnte, die Ansicht bestätigend, dass auch die Sonne ein gewöhnliches von den zahllosen Sandkörnern ist, welche den Weltraum füllen.

Auch wird man, nach der Erkenntniss der Summe der beiden Massen des Doppelsterns, zur Kenntniss jeder einzelnen derselben gelangen. Dazu ist erforderlich, dass der Punkt zwischen beiden Sternen, welcher während ihrer Umlaufsbewegung in Ruhe bleibt, durch lange fortgesetzte Beobachtungen ausgemittelt werde, so dass man, aus der beziehungsweisen Bewegung der Sterne, die wahre eines jeden von ihnen kennen lernt. Das Verhältniss der beiden Bewegungen ist auch das Verhältniss der Massen, und dieses, verbunden mit der Bestimmung ihrer Summe, ergiebt die Bestimmung jeder einzelnen. Es werden aber mehrere Jahrhunderte verfliessen, ehe man zu dieser Bestimmung gelangen wird.

Ich schliesse meine Mittheilung über die jährliche Parallaxe eines Fixsterns, mit der Aeusserung meiner Meinung über ihre wissenschaftliche Bedeutung und Folgen. Ich bin eben so wenig geneigt, ihrer Auffindung in dem dargestellten Falle, an sich selbst, alles Interesse abzusprechen, als ich geneigt bin, das ihrige für vergleichbar mit dem Interesse der wichtigen Entdeckungen zu halten, welche das Suchen nach der jährlichen Parallaxe der Fixsterne herbeigeführt hat. Ich gestehe, dass ich die erlangte Kenntniss des einzelnen Falles für wenig geeignet halten würde, Theilnahme zu erregen, wenn ich nicht glaubte, dass

sie auf einen Standpunkt führe, von welchem aus sich weitere Aussicht eröffnet. Als Gewinn für die Wissenschaft selbst, betrachte ich die Erlangung einer Vorstellung von der Grösse, über welche Beobachtungen mussten entscheiden können, damit sie die jährliche Parallaxe eines Fixsterns verriethen: diese Grösse darf nicht mehr, wie es bisher erlaubt war, für so klein gehalten werden, dass sie die Hoffnung niederschlüge, sie auch durch Beobachtungsarten erreichen zu können, welche, nicht wie die auf dem Heliometer beruhende, nur in besonderen, geeigneten Fällen, sondern im Allgemeinen, anwendbar sind. Die Verfolgung dieser Hoffnung bis zu ihrer Erreichung, tritt also als neue Aufgabe hervor, als Aufgabe, deren Auflösung nicht nur die Entfernungen einiger Fixsterne kennen lehren, sondern auch der ganzen Astronomie einen neuen Grad der Vollendung bringen wird; denn von der Genauigkeit der Beobachtungen geht ihre Vollendung aus, und der geschichtliche Gang der Wechselwirkung zwischen derselben und der Theorie lässt nicht bezweifeln, dass auch diese sich bis zu den erhöheten Forderungen emporarbeiten wird. Für jetzt ist zwar die allgemein anwendbare Beobachtungsart durch Meridianinstrumente, hinter der besonderen noch beträchtlich zurück; denn ich finde durch eine Untersuchung vieler, in den Tagebüchern der Greenwicher Sternwarte enthaltenen Angaben, dass jede Anwendung der dortigen, unter allen vorhandenen die übereinstimmendsten Beobachtungen liefernden Kreise, noch einen mittleren Fehler

von 72 Hunderteln einer Secunde besitzt, und ferner aus seiner Vergleichung mit den mittleren Fehlern von resp. 13 und 16 Hunderteln einer Secunde, welche das Heliometer in den Entfernungen des 61. Sterns des Schwans von den Sternen *a* und *b* übrig gelassen hat, dass resp. 28 und 19 Beobachtungen der ersteren Art erforderlich sind, um ein eben so sicheres Resultat zu geben als eine der letzteren; allein dennoch bezweifle ich nicht, dass jene Beobachtungsart erreichen kann, was dieser erreichbar ist. Weit entfernt, die Auflösung der ausgesprochenen Aufgabe jetzt schon für erreichbar zu halten, erwähne ich besonders der Schwierigkeit, welche die selten ganz fehlende und gewöhnlich in sehr störendem Grade vorhandene Unruhe der Luft, täglich nur einmal möglichen Beobachtungen im Meridiane, in höherem Grade in den Weg legt, als beliebig oft, mit einem mikrometrischen Apparate wiederholten; allein wenn es erst gelungen sein wird, anderweitige Verbesserungen der Beobachtungsart, bis zu dem Grade herbeigeführt zu haben, der die Ueberzeugung von der alleinigen Hemmung durch die eben erwähnte Schwierigkeit hervortreten lassen wird, dann wird es auch nicht mehr an Mitteln fehlen, die l e t z t e zu überwinden. Es ist in der That sehr wahrscheinlich, dass man Punkte auf der Erde finden wird, es sei in der Ebene oder im hohen Gebirge, wo die Ruhe der Luft eben so Regel ist, als bei uns Ausnahme: an d i e s e n Punkten muss man dann die Sternwarten errichten. — Wenn die Beobachtungskraft im Allgemeinen so weit gekommen sein wird,

dass sie über Zehntel einer Secunde eben so sicher entscheidet, als jetzt über die ganze Secunde, dann wird auch die Astronomie selbst wieder einen Fortschritt gemacht haben, welcher eben so gross ist als der zwischen Flamsteed's Zeit und der gegenwärtigen gemachte: dass die Beobachtungen, welche die Veranlassung meiner Mittheilung gewesen sind, die Erreichbarkeit dieses Zieles gezeigt haben, halte ich für den Gewinn, den sie der Wissenschaft liefern.

Ueber Mass und Gewicht im Allgemeinen und das Preussische Längenmass im Besonderen.

Eine Grösse wird durch eine andere gemessen, indem ihr Verhältniss zu dieser bestimmt wird; durch die Angabe dieses Verhältnisses wird die erstere Jedem erschöpfend beschrieben, dem die andere, d. h. das Mass bekannt ist. Diese Beschreibung ist der Zweck des Messens. Jenachdem die Grösse eine Linie, ein Flächenraum, ein Körperraum oder ein Gewicht ist, ist das Mass von anderer Beschaffenheit, nämlich gleichfalls eine Linie, ein Flächenraum, ein Körperraum oder ein Gewicht. Wenn das Uebereinkommen stattfindet, in allen einander ähnlichen Fällen stets ein und dasselbe Mass anzuwenden, werden alle durch einmalige Versinnlichung dieses Masses verständlich; sie werden Jedem verständlich, der im Besitze derselben ist.

Die Einführung eines bestimmten Masses für jeden der vier Fälle des Messens, hat jede gesellschaftliche Verbindung als nothwendig erkannt; auch

ist wohl keine Culturstufe so niedrig, dass sie sie entbehren könnte. Aus der Willkür der Wahl der zum Masse zu machenden Grösse, verbunden mit der Beschränktheit der gesellschaftlichen Verbindungen früherer Zeiten, ging hervor, dass in jeder Stadt, oder in jedem Ländchen, eigene Masse eingeführt wurden. So wie der Verkehr seine Grenzen erweiterte, sind ohne Zweifel viele davon wieder verschwunden; allein wie gross die Anzahl der länger, oder auch noch bestehenden ist, kann man z. B. aus einer, in dem Annuaire du Bureau des Longitudes für 1832 enthaltenen Vergleichung von italienischen Fussmassen sehen, welche allein die bei dem Feldmessen angewandt werdenden berücksichtigt, die im Handel angewandten aber ausschliesst, auch nicht als vollständig angegeben wird, und dennoch 215 verschiedene enthält.

Die Einführung bestimmter Masse erreicht ihren Zweck offenbar desto vollständiger, einem je grösseren Umkreise sie gemeinschaftlich wird. Nothwendig hat die Unbequemlichkeit und Erschwerung des Verkehrs benachbarter, kleiner Umkreise, welche aus der Verschiedenheit ihrer Masse hervorging, schon sehr früh bemerkt werden müssen; allein eine Vereinigung war dennoch wohl selten die Folge davon, indem die Schwierigkeiten, von denen sie in jedem Falle begleitet wird, ihr entgegentraten. Die Aenderung vorhandener Masse fordert nämlich stets die Aenderung vieler, sich auf sie beziehender Gewohnheiten, Verträge und Gesetze; und keine der gesellschaftlichen

Verbindungen, welchen die Vereinigung wünschenswerth ist, wird sich freiwillig entschliessen, diese Last derselben zu übernehmen. Auch ist die Frage wohl nicht leicht, und nie allgemein zu beantworten, ob die durch eine Aenderung der Masse beabsichtigten Vortheile für den einheimischen Verkehr, nicht durch Nachtheile für den auswärtigen aufgewogen werden.

Die Verschiedenheit der Masse kleinerer Verbindungen geht daher meistens noch weit über die Zeit ihrer Vereinigung zu einem grösseren Lande hinaus, und verliert sich erst dann, wenn eine, den Gesammtvortheil des Ganzen verfolgende Gesetzgebung sie aufhebt. Gewöhnlich ist diese wohl in kleineren Schritten vorwärts gegangen, indem sie nach und nach einzelne, allgemein gültige Bestimmungen einführte, wie z. B. für die Masse, nach welchen die Abgaben erhoben werden. — Indessen ist das letzte Ziel, die vollständige Vereinigung der Masse aller Theile eines Landes, für die meisten grösseren Länder Europas erreicht worden, während andere sich seiner Erreichung nähern. Frankreich hat sogar, zur Zeit seiner Revolution, den Versuch gemacht, gemeinschaftliche Masse in allen civilisirten Ländern einzuführen; einen Versuch, welcher zwar nicht den beabsichtigten Erfolg gehabt, doch aber die französischen Masse auf einige benachbarte Länder übertragen hat.

Was der Einführung gemeinschaftlicher Masse für alle Theile eines Landes vorangehen muss, ist offenbar die feste Bestimmung derselben. Am wenigsten streitend gegen den Vortheil der Beibe-

haltung der bestehenden Masse, und daher am angemessensten erscheint es, wenn die zur Allgemeinheit zu erhebenden Masse dieselben sind, welche schon die am meisten verbreitete Anwendung im Lande erlangt haben. Wenn man von diesem Gesichtspunkte ausgeht, so wird ihre zu treffende Wahl nicht leicht zweifelhaft sein können. Doch muss dieses nicht so verstanden werden, dass durch die Wahl selbst schon die erforderliche feste Bestimmung erreicht würde; vielmehr wird man, so lange diese noch nicht erfolgt ist, immer auf eine Unbestimmtheit der unter den beizubehaltenden Benennungen gangbaren Masse treffen, welche sowohl von Unvollkommenheiten ihrer ursprünglichen materiellen Erklärungen, als auch Fehlern der Copien davon, durch welche jene bis zu uns fortgepflanzt worden sind, herrührt. Wenn diese Unbestimmtheit nicht einen so grossen Umfang erreicht, dass sie den Anwendungen der Masse im Handel und in den Gewerben wesentlich nachtheilig würde, so ist jede Festsetzung innerhalb der Grenzen derselben als gleichgültig zu betrachten: es wird dadurch nicht etwas Neues eingeführt, sondern nur der Fortgang und die Vergrösserung der Unbestimmtheit wird gehemmt. Die Ueberschreitung der Grenzen der vorhandenen Unbestimmtheit, etwa um ein festzusetzendes Mass seinem, ein ganzes oder halbes Jahrtausend alten Urmasse, wovon es sich nach und nach fortschreitend entfernt haben mag, wieder zu nähern, würde wenigstens nicht der Absicht entsprechen, das Bestehende so wenig als möglich zu verletzen.

Uebrigens wird dieses Urmass auch wohl selten oder nie aufzufinden sein; und wenn es aufzufinden wäre, so würden der Zweck, welchen seine Einführung zu erreichen beabsichtigte, und der Zustand der mechanischen Kunst früherer Zeit doch erwarten lassen, dass es sehr roh gearbeitet und deshalb zwischen nicht engen Grenzen zweideutig wäre. Vielleicht vollkommener gearbeitete Copien davon, aus einer späteren Zeit, können zwar an sich selbst grössere Bestimmtheit gewähren, doch eine Unbestimmtheit des Urmasses nicht beseitigen.

Obgleich ein Mass für jede der vier Arten der zu messenden Grössen festzusetzen ist, so sind doch nicht vier, sondern weniger materielle Darstellungen von Massen erforderlich. Da alle Flächen durch Längenmass ausgemessen werden müssen, auch jede Methode sie zu messen, auf der Anwendung dieses Masses beruhet, so bezieht sich das festzusetzende Flächenmass immer auf das Längenmass und bedarf also keiner besonderen materiellen Darstellung, welche auch, wenn man sie verfertigen wollte, unbrauchbar sein würde. Nicht so ist es mit dem Körpermasse, wenn auch die Körper nicht minder durch Längenmass ausgemessen werden können und in vielen Fällen ausgemessen werden; denn in andern Fällen, z. B. im Falle flüssiger Körper, gelangt man viel leichter zu ihrer Ausmessung, wenn man ein bestimmtes Gefäss zu ihrem Masse macht. Die Grösse dieses Gefässes könnte sich nun zwar auch auf das Längenmass beziehen, z. B. wenn dieses ein Fuss genannt

wird, ein Cubikfuss oder ein bestimmter Theil davon sein, allein sie kann auch eben so gut für sich bestehend, ohne Rücksicht auf das Längenmass, gewählt werden, und ist wirklich, wenigstens in allen von früherer Zeit auf uns übergegangenen Fällen, ohne diese Rücksicht gewählt worden. Das Mass der Gewichte ist wesentlich eine Einheit, welche selbst ein Gewicht ist. — Man gebraucht also drei Masse: das Längenmass, das Mass für flüssige Körper und Getraide, und das Mass der Gewichte. Die materiellen Darstellungen dieser drei Masse sind zu ihrer Erklärung erforderlich. Sie sind die Grundlage jeder Festsetzung eines Masssystems. Dieses erlangt völlige Bestimmtheit, wenn die materiellen Darstellungen seiner Einheiten so beschaffen sind, dass sie jede Zweideutigkeit ausschliessen; es erlangt Unveränderlichkeit, wenn sie allen Einflüssen der Zeit widerstehen; es erfüllt seine Absicht desto vollständiger, je allgemeiner zugänglich seine ursprünglichen Einheiten gemacht werden können.

Da jede Art des Messens auf das Zeugniss der Sinne zurückführt, also nicht mit vollständiger Schärfe bewirkt werden kann, die Grösse der dadurch erlangten Annäherung an die Wahrheit aber von der darauf verwandten Aufmerksamkeit und ihrer Unterstützung durch mehr oder weniger genügende Hülfsmittel abhängt, so liegt am Tage, dass weniger genaue Messungen leichter ausführbar sind, als genauere. In dem gewöhnlichen Verkehre wird nie die grösste Genauigkeit verlangt, z. B. eine, welche grösser wäre

als die, welche durch das unmittelbare, d. h. nicht durch künstliche Verstärkungsmittel geschärfte, Zeugniss der Sinne herbeigeführt werden kann; es wird wohl als ganz gleichgültig erachtet werden, ob ein aufzuführendes Gebäude um den zehntausendsten Theil seiner Grösse grösser oder kleiner wird, als beabsichtigt ist, oder ob eine zu wägende Last richtig oder um den zehntausendsten Theil ihres Gewichtes fehlerhaft gewogen wird. Es würde also Verschwendung sein, wenn man die in solchen Fällen anzuwendenden Messungsmittel bis zu der äussersten Grenze verfeinern und ihre Anwendung dadurch erschweren wollte; und nichts anderes würde die Bemühung sein, die zur Anwendung in dem Verkehre bestimmten Masse mit einer Schärfe darzustellen, welche diese nicht fordert. Der Maurer und der Zimmermann würden sich mit Recht beschweren, wenn ihnen zugemuthet würde, statt des roh und von Holz gearbeiteten Fussmasses, womit sie ausreichen, ein sorgfältiger und aus einem besseren Materiale verfertigtes, innerhalb der Breite eines Haares sicheres, dessen Vorzug ihnen werthlos sein würde, für einen höheren Preiss anzuschaffen. Es sind aber auch Messungen denkbar, deren Interesse mit ihrer Genauigkeit wächst, und welche daher Veranlassung geben, sowohl die Mittel zur Anwendung des Masses, als seine eigene Richtigkeit, bis zu der äussersten Grenze zu treiben, welche durch die kräftigsten Verstärkungen der Sinne erreicht werden kann. Erst wenn solche Messungen, welche nicht durch den Verkehr, sondern nur durch

wissenschaftliche Forderungen herbeigeführt werden, ausgeführt werden sollen, wird es nothwendig, das Mass, welches dazu angewandt werden soll, unwandelbar festzusetzen und seine materielle Erklärung so zu machen, dass sie an sich selbst nicht die kleinste Zweideutigkeit übrig lässt. Der Werth einer Messung besteht nur so lange, als das Mass, welches ihr zum Grunde liegt, erhalten wird; und umgekehrt, erlangt die Erhaltung des Masses nur durch die Messungen, welche davon abhängen, Gewicht und Bedeutung. So lange nur Maurer und Zimmermann mit einem Fusse gemessen haben, ist es wirklich ganz gleichgültig, ob er ganz bestimmt oder etwas zweideutig ist, und ob er genau beständig bleibt, oder im Laufe der Zeit sich um ein oder einige Zehntausendtel seiner Länge verändert.

Das Bedürfniss der sicheren Bestimmung der Einheit eines Längenmasses wurde zuerst fühlbar, als man im J. 1734, in Frankreich die Messungen zweier Grade der Erdmeridiane entwarf, welche Bouguer und Condamine unter den Aequator, und Maupertuis unter den Polarkreis führten. Damals wurden zwei, einander gleiche Exemplare der Toise verfertigt, nämlich Stäbe von Eisen, deren Endflächen die Entfernung erhielten, welche von dieser Zeit an als die Einheit des französischen Längenmasses angesehen worden ist. Diese Einheit wurde so gewählt, dass sie mit dem unter gleicher Benennung im Gebrauche befindlichen Masse insoweit übereinstimmte, als dieses bei seinen stattfindenden kleinen Verschiedenheiten

erkannt werden konnte; also so, dass die das Mass anwendenden Künste und Gewerbe durch seine neue Festsetzung keine Störung erfuhren. Die eine dieser Toisen wurde später durch Schiffbruch beschädigt; die andere, und zwar die unter dem Aequator, in Pérou angewandte, wurde aber unversehrt zurückgebracht und die Länge, welche sie besitzt, indem sie sich in der Wärme von 13° des Réaumurschen Thermometers befindet, ist die unter der Benennung Toise du Pérou vorhandene Einheit des französischen Längenmasses. Diese Einheit wird in 6 Fusse, oder 72 Zolle, oder 864 Linien getheilt. — So lange dieses Original der Toise vorhanden ist, oder seine Länge durch ihre Fortpflanzung auf Copien oder andere Längen wiedererlangt werden kann, bleibt auch das Resultat der unter dem Aequator ausgeführten Messungen in seinem vollen Werthe, welchen es aber verliert, sobald das Mass, worauf es sich bezieht, verloren geht. Es sind daher Mittel ergriffen worden, der Aufbewahrung der Toise du Pérou eine beträchtliche Sicherheit zu geben und Anlässe zu Beschädigungen davon zu entfernen. Beides ist bis jetzt erfolgreich gewesen.

In England verordnet schon die Magna Charta, dass im ganzen Reiche gleiche Masse sein sollen. Für das Längenmass gewährt das Yard die nothwendige Einheit. Ein aus der Zeit der Königin Elisabeth herrührender Stab von Messing, welcher im Schatzamte (Exchequer) aufbewahrt wird, wurde vorzugsweise vor einem älteren, wahrscheinlich seit

Heinrich VII. ebendaselbst befindlichen, als Probemass des Yard betrachtet und diente zur Vergleichung von anderen Yards, welchen durch Stempelung gesetzliche Gültigkeit gegeben wurde. Aber diese Massregel hatte so wenig Erfolg, dass die Aufmerksamkeit des Parlaments häufig auf die Masse und Gewichte gerichtet werden musste; aus einer Schrift des Herrn Francis Baily, welche die Verfertigung eines Massstabes für die Königl. astronomische Gesellschaft in London betrifft, sieht man, dass nach und nach über 200 diesen Gegenstand betreffende Gesetze erschienen sind, ohne dass dadurch eine, selbst für den gewöhnlichen Verkehr beträchtliche, Unsicherheit beseitigt worden wäre. Bei Gelegenheit einer im J. 1758 angeordneten Untersuchung fand sich, dass das Yard des Exchequer weder ebene, noch parallele Endflächen besass und daher kein unzweideutiges Zeugniss für die Länge dieses Masses ablegen konnte; dass ferner andere öffentliche Probemasse, bis auf den 25. Theil eines Zolls, also bis auf ein Neunhunderttel des Ganzen, davon abweichen, was namentlich der Fall des in Guildhall befindlichen war; dass viele andere, durch das Königreich verbreitet und als gesetzlich anerkannt, dennoch aber wesentlich von einander verschieden waren. Der Ausschuss des Hauses der Gemeinen, welcher diese Untersuchung führte, fand die Ursache der Verwirrung, welche sich in das ganze Masswesen eingeschlichen hatte, in der oft stattfindenden Unfähigkeit der Verfertiger der Masse und Gewichte, und in der

Unzulänglichkeit der zu ihrer Prüfung ergriffenen Mittel. Um sie in Beziehung auf das Längenmass zu heben, liess er durch den Mechaniker Bird, der durch seine Verfertigung und Eintheilung der Mauerquadranten der Sternwarte in Greenwich einen hohen Ruhm erworben hatte, zwei Stäbe von Messing verfertigen, deren Durchschnitte Quadrate von einem Zoll Seite waren, und auf deren einer Seitenfläche die Länge eines Yard, durch zwei Punkte, auf eingetriebenen Stiften von Gold, bezeichnet wurde. Er empfahl dem Parlamente, den einen, mit der Aufschrift „Standard Yard 1758" versehenen, dieser Stäbe sorgfältig aufzubewahren, den anderen aber, im Exchequer, für den allgemeinen Gebrauch, zur Prüfung anderer Exemplare des Yard, niederzulegen. — Im folgenden Jahre vereinigte ein neuernannter Ausschuss seine Vorschläge mit denen des früheren, empfahl aber noch, dass eine Copie des Standard Yard gemacht und bei einer öffentlichen Behörde niedergelegt werde, um bei besonderen Gelegenheiten benutzt zu werden, welcher Empfehlung zufolge auch im J. 1760 diese Copie verfertigt wurde. Allein das Gesetz, welches diesen Vorschlägen der Ausschüsse zufolge vor das Parlament gebracht und zweimal gelesen wurde, wurde dennoch nicht vollständig durchgeführt, indem es durch eine Prorogation des Parlaments verloren ging. Die vorhandene Unsicherheit über die wahre Länge des Yard blieb also noch ohne Abhülfe, und erst im J. 1814 ernannte das Haus der Gemeinen wieder einen Ausschuss, wovon die Folge war, dass 1824 ein

Gesetz erschien, welches das im J. 1760 verfertigte, mit der Aufschrift „Standard Yard 1760" versehene Mass, in dem Zustande, in welchem es sich befindet, wenn seine Wärme dem 62. Grade der Fahrenheitschen Thermometer-Scale entspricht, zur wahren Länge des Yard machte.

Hierdurch wurde indessen der beabsichtigte Zweck noch nicht erreicht, indem sich, bei einer Untersuchung des gesetzlich zum Urmasse erhobenen Masses, welche Herr Baily 1834 vornahm, fand, dass man von demselben die unzweideutige Länge des Yard nicht hernehmen konnte, weil die sie bestimmenden beiden Punkte nicht rund oder anders regelmässig geformt, sondern im höchsten Grade unregelmässig waren, welches er nicht sowohl ihrem ursprünglichen Zustande, als ihrem Verderben durch die verschiedenen Anwendungen zuschreibt, die man ohne die gehörige Vorsicht von dem Masse gemacht hatte. Freilich war die aus der Unbestimmtheit der Punkte, welche das Mass bestimmen sollen, hervorgehende Unsicherheit nicht mehr so gross, dass sie dem Verkehre hätte störend werden können; allein ich habe schon bemerkt, dass wissenschaftliche Anwendungen eines Masses nicht die Einschliessung seiner Unbestimmtheit in enge Grenzen, sondern seine völlige Bestimmtheit fordern. Solche Messungen waren auch in England und seinen Colonien ausgeführt worden; ich nenne unter ihnen nur die Messung der Länge des einfachen Secundenpendels, welche wir Kater verdanken, und die Messungen eines Bogens

des Meridians in England und eines viel weiter ausgedehnten in Indien, deren erstere der General Roy anfing und der Oberstlieut. Mudge beendigte, deren letztere aber vom Obersten Lambton angefangen, vom Obersten Everest fortgesetzt ist, und, so viel ich weiss, noch weiter nach Norden verlängert wird. Da keine gesetzliche und unzweideutige Bestimmung des Masses vorhanden war, so konnte das bei diesen Gelegenheiten angewandte Mass nur von Exemplaren desselben hergenommen werden, welche sich im Privatbesitze befanden, und welche nicht hervorgebracht haben, dass bei allen diesen Gelegenheiten ein gleiches angewandt worden wäre. Wenn man die noch fehlende, gänzlich unzweideutige Bestimmung des Yard gegeben haben wird, so kann man zwar die wirklich angewandten Masse, insofern sie dann noch vorhanden und im guten Zustande sind, damit vergleichen und daraus Verbesserungen der schon ausgeführten Messungen ableiten; allein diese späteren, immer nur bedingungsweise möglichen Verbesserungen, ohne welche grosse, auf die vorhandenen Messungen verwandte Anstrengungen und Geldsummen mehr oder weniger verschwendet sind, sind gegen den Zweck eines geordneten Masssystems. — Ich habe von dem englischen Längenmasse einige geschichtliche Nachrichten mitgetheilt, weil ich sie für lehrreich halte. Zu ihrem Schlusse bemerke ich noch, dass das im J. 1824 zum Urmasse erhobene Mass mit dem Parlamentsgebäude verbrannt ist, was ich jedoch nicht für ein unglückliches Ereigniss halte, indem die erste an ein Mass

zu machende Forderung, die seiner völligen Bestimmtheit, jedenfalls eine neue Fortsetzung gefordert haben würde.

Ich kehre wieder zu den Massregeln zurück, welche in Frankreich, der Masse wegen, ergriffen worden sind. Die Revolution rief ein ganz neues Masssystem hervor, das sogenannte metrische, welches durch ein Gesetz des Nationalconvents vom 18. Germinal des 3. Jahrs der Republik eingeführt wurde. Dieses System beruhet ganz auf einer neuen Einheit des Längenmasses, dem Meter, und auf der Vervielfältigung und Theilung derselben nach der Grundzahl 10 unserer Arithmetik und ihren Potenzen 100, 1000 etc. Das Meter ist der zehnmillionenste Theil der Länge des Quadranten der Erdmeridiane; 10, 100, 1000, 10000 Meter heissen ein Decameter, ein Hecto-, ein Kilo-, ein Myria-meter; der 10., 100., 1000. Theil davon ein Deci-, ein Centi-, ein Milli-meter. Die Einheit des Flächenmasses — Are — ist ein Quadrat von einem Decameter Seite. Die Einheit des Körpermasses für Holz, Kohlen etc. — Stere ist ein Cubus von einem Meter Seite; für Flüssigkeiten — Liter — ein Cubus von einem Decimeter Seite. Die Einheit des Gewichtes — Gramme — ist die, einen Cubus von einem Centimeter Seite füllende Masse reinen Wassers, in dem (etwa mit dem 4. Grade des hunderttheiligen Thermometers eintretenden) Zustande seiner grössten Dichtigkeit. Dieselben Vervielfachungen und Abtheilungen des Are, Stere, Liter, Gramme, welche für das Meter durch besondere Benennungen

bezeichnet worden sind, erhalten die analogen. Die Einheit der Münze — Franc — wiegt 5 Grammen und besteht zu 9 Zehnteln aus Silber und zu einem Zehntel aus Kupfer; sie wird in Decimen und Centimen eingetheilt. Die Eintheilung des Tages fügt sich gleichfalls dem Decimalsysteme, indem er 10 Stunden, jede von 100 Minuten, welche wieder in 100 Secunden getheilt werden, erhält; der Quadrant des Kreises erhält 100 Grade, ein Grad 100 Minuten, eine Minute 100 Secunden. Selbst der Kalender widersteht der Revolution nicht, indem das mit dem Tage der Frühlingsnachtgleiche anfangende Jahr 12 Monate von 30 Tagen und 5 (oder 6) Complementärtage erhält. *)

Dieses neue Masssystem nimmt, wie aus dem davon Angeführten hervorgeht, keine Rücksicht auf das Bestehende, wählt auch seine Grundeinheit nicht etwa willkürlich, wie früher, sondern setzt sie in Verbindung mit einer der Abmessungen der Erde. Vermuthlich würde seine Einführung zu jeder anderen Zeit für weniger leicht ausführbar gehalten sein, als zu der Zeit, welcher es seine Entstehung verdankt. Grosse Unbequemlichkeiten für den inneren Verkehr muss sie wohl gehabt haben, allein sie ist durchgesetzt

*) Beiläufig gesagt, wurde dadurch statt des einfachen Kennzeichens der Schaltjahre in unserem Kalender eins eingeführt, welches keineswegs auf unmittelbarer Anschauung der Jahreszahl beruhete und also dem neuen Kalender einen entscheidenden Vorzug des alten raubte. Indessen wurde jener auch bald wieder ausser Gebrauch gesetzt.

worden, und nur ein Theil der eingeführten Benennungen ist früher gebräuchlichen gewichen, z. B. Lieue statt Myriameter, Perche statt Decameter, Palme statt Decimeter, Doigt statt Centimeter etc., wodurch also ungeänderte Benennungen geänderte Bedeutungen erhalten haben. Die Untersuchung der Schwierigkeiten so durchgreifender Aenderungen eines Masssystems liegt indessen ausser der Absicht dieses Aufsatzes; allein von der verfolgten Grundidee, willkürlich eingeführte Masse durch ein sogenanntes Naturmass zu ersetzen, werde ich meine Ansicht nicht unterdrücken.

Das metrische System hat zwei Eigenthümlichkeiten, welche man nicht als wesentlich miteinander verbunden betrachten muss, nämlich seine mit dem Erdkörper in Verbindung gebrachten Einheiten, und ihre Theilungen in zehntheilige Brüche. Diese Art der Theilungen kürzt im Allgemeinen die Rechnungen ab, wenn sie auch den Nachtheil mit sich bringt, die Brüche $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{3}$ etc. nicht, wie in dem Falle der sonst oft vorkommenden Duodecimaltheilung, vollständig angeben zu können; ihr Vortheil in Beziehung auf das Rechnen würde noch beträchtlicher sein, wenn es schwieriger wäre, auch die durch die Duodecimaltheilung gemessenen Brüche in Decimalbrüche zu verwandeln. Dass auch andere Masssysteme die Decimaltheilung hin und wieder anwenden, setzt sie in dieser Beziehung dem metrischen, wo sie durchweg angewandt wird, nicht gleich. Uebrigens hat die Decimaltheilung des Tages und des Quadranten

die früher übliche in Frankreich nicht dauernd verdrängt; die erstere scheint auch nie in das Zeitmass für das Publicum übergegangen zu sein.

Die Idee des Naturmasses ist zwar nicht neu, sondern schon von Huyghens in der Mitte des 17. Jahrhunderts ausgesprochen, indem er empfahl, die Länge des einfachen Secundenpendels als Einheit des Längenmasses anzuwenden, welche Empfehlung später häufige Unterstützungen gefunden hat, auch bei Gelegenheit der Einführung des französischen metrischen Systems wieder zur Sprache gebracht ist, jedoch der Wahl des zehnmillionensten Theils der Länge des Quadranten der Erdmeridiane hat weichen müssen. Die Idee des Naturmasses ist aber in dem metrischen Systeme zum ersten Male wirklich ausgeführt worden, und zwar in so grosser Ausdehnung und Consequenz, dass die Freunde dieser Idee sich dadurch vollkommen befriedigt finden müssen. — Wir wollen aber ihre verschiedenen Seiten betrachten, denn nur daraus kann hervorgehen, ob wir uns ihr freundlich oder feindlich erklären müssen. Offenbar ist jedes Mass mit gleicher Leichtigkeit und Sicherheit zum Messen anwendbar, da dieses nur die Ausmittelung des Verhältnisses zwischen zwei gleichartigen Grössen ist. Auch gewährt es keinen Vortheil, durch die Messung einer Länge, selbst wenn diese die Entfernung zweier Punkte der Erdoberfläche ist, das Verhältniss des Gemessenen zu der Länge des ganzen Erdquadranten, als Decimalbruch ausgedrückt, unmittelbar kennen zu lernen; noch weniger kann als

wünschenswerth betrachtet werden, von einer Fläche, einem Körperraume und einem Gewichte, unmittelbar in der Form von Decimalbrüchen ausgedrückt, zu erfahren, wie sich die beiden ersteren zu einem Quadrate und einem Cubus verhalten, dessen Seite der ganze Erdquadrant ist, und wie das letztere sich zu dem Gewichte des diesen Cubus füllenden Wassers verhält. Es sind also weder die Leichtigkeit und Sicherheit der Anwendung, noch die Form, in welcher diese die Messung unmittelbar angiebt, welche einem Masse einen Vorzug vor einem anderen geben könnten, sondern es ist allein die grössere Unvergänglichkeit des einen oder des anderen, welche diesen Vorzug begründen kann. In Beziehung auf diese Unvergänglichkeit steht aber ein von der Natur selbst dargebotenes Mass ohne Zweifel über jeder Einrichtung, welche man zur Erhaltung eines anderen Masses treffen kann. Ob das metrische System diesen Vorzug, dem es seine Entstehung zu verdanken scheint, wirklich besitzt oder besitzen kann, ist also die Frage, deren Erörterung meine Absicht ist.

Wenn die Natur einen Körper hervorbrächte, welcher in allen Fällen, in welchen er sich zeigt, stets eine gleiche Abmessung besässe, so ist kaum zu bezweifeln, dass man, bei der bestehenden Willkür der Wahl des Masses, diese Abmessung zum Masse der Längen gemacht haben würde. Wären alle seine Abmessungen in allen Fällen gleich, so würde er auch ein natürliches Körpermass darbieten. Besässe er noch dazu in allen Fällen gleiche Dichtigkeit seiner

Materie, so würde seine Masse auch die natürliche Gewichtseinheit darstellen. Allein man kennt keinen Körper, welcher diese drei Eigenschaften, oder auch nur eine davon, darböte; also auch keinen, durch welchen man unmittelbar messen oder wägen könnte. Will man dennoch ein Naturmass, so kann man es also nur durch Messung des Gegenstandes, von welchem es hergenommen werden soll, erlangen. Die Länge des einfachen Secundenpendels könnte dieser Gegenstand sein; sie empfiehlt sich durch ihre Zugänglichkeit an jedem Orte der Erde, so wie auch durch die verhältnissmässige Leichtigkeit der Operationen, welche ihre Messung fordert. Ihre Unveränderlichkeit beruhet auf der Voraussetzung des Gleichbleibens der Schwere an dem Messungsorte, deren Richtigkeit nie bezweifelt worden ist, allein doch durch die neueren Erfahrungen über die langsame Erhebung grosser Theile der Erdoberfläche einigermassen unsicher wird; wenn man sie zur Grundlage eines Masssystems wählen wollte, so müsste man sie auf einen bestimmten Ort beziehen, nicht auf ein bestimmtes Parallel, indem bekannt ist, dass sie nicht an allen Punkten desselben gleich ist. Der Erdquadrant wurde der Pendellänge aber vorgezogen, weil ihre Erklärung sich auf die Zeit bezieht (nämlich auf die Schwingungszeit des Pendels), der Erdquadrant dagegen ohne weitere Beziehung ein Längenmass ist; bestimmt ist dieses Mass, wenn der Meridian der Erde angegeben wird, unter welchem es genommen werden soll, während es ohne diese Angabe so lange unbestimmt bleibt,

als man nicht die Ueberzeugung erlangen kann, dass alle Meridiane der Erde gleich sind; eine Ueberzeugung, welcher neuere Gradmessungen sich entscheidend widersetzen.

Von welchem nicht selbst als Mass anzuwendenden Gegenstande man aber auch das Naturmass hernehmen möge, so muss es immer durch seine Messung erlangt werden. Da wir aber keine Grösse durch Messung oder Beobachtung kennen lernen, sondern uns ihr dadurch nur nähern können, so erfüllt das durch Messung zu erlangende Naturmass nie die erste der Forderungen, welche ein Mass erfüllen soll, nämlich die, an sich selbst jede Unbestimmtheit auszuschliessen. So wie man aber ein bestimmtes Mass, dem Resultate einer Messung entsprechend, also eine materielle Darstellung dieses Resultats, einführt und für die Folge geltend macht, leistet man ebendadurch auf das Naturmass Verzicht. Man könnte erst ein solches Mass erlangen, wenn man die Kunst gefunden hätte, durch eine Messung zu einem völlig bestimmten Resultate zu gelangen — eine Kunst, welche nicht zu finden ist, indem jede Schärfung der Messungsmethoden nur eine Vermehrung der Annäherung hervorbringen, nie aber die unvollkommene Leistung der Sinne in Vollkommenheit verwandeln kann.

Indessen sind es nicht die unvermeidlichen Unvollkommenheiten der Messungen allein, welche sich der Erlangung eines Naturmasses sowohl durch die Pendellänge, als durch den Quadranten der Erdme-

ridiane widersetzen. Selten, und auch hier nicht, tritt ein Gegenstand der Beobachtungen rein hervor; gewöhnlich bietet er sich nur von fremdartigen Einwirkungen entstellt dar, welche also von der unmittelbaren Beobachtung abgesondert werden müssen, ehe diese die Bestimmung geben kann, welche man dadurch zu erlangen beabsichtigt. Diese Bestimmung setzt also die vollständige Kenntniss alles dessen voraus, was sich mit dem Gegenstande der Beobachtung vermischt, während kein Mittel vorhanden ist, welches von ihrer Vollständigkeit überzeugen könnte. Die Geschichte der Bestimmung der Länge des einfachen Secundenpendels kann dieses erläutern. Früherer, weniger genügender Versuche, sie zu messen, nicht zu gedenken, führe ich an, dass Borda — einer der scharfsinnigsten Experimentatoren, welche das vorige Jahrhundert hervorgebracht hat! — bei Gelegenheit der Einführung des metrischen Systems, die Pendellänge für Paris gemessen, und dazu eine Methode angewandt hat, deren eigene Eleganz, verbunden mit ihrer meisterhaften Ausführung, glauben liessen, dass sie nur höchst geringe Abweichungen von der Wahrheit übrig gelassen haben könne; dass später Kater noch eine andere, nicht minder sinnreich erdachte und vortrefflich ausgeführte Methode, zur Erlangung derselben Bestimmung für London, angewandt hat; dass aber dem Scharfsinn Beider noch zwei Einwirkungen auf die Pendellänge entgangen sind, welche Fehler der angeführten Messungen erzeugen konnten und erzeugt haben, deren Grösse die eigentlichen Beobachtungs-

fehler weit überschreitet. Eine dieser Einwirkungen fand Laplace in der stets unvollkommenen Schärfe der Schneide, um welche ein Pendel schwingt, welche man früher als keinen Einfluss habend betrachtet hatte, wovon er aber zeigte, dass sie einen nicht unbeträchtlichen äussern kann; die andere fand sich bei Gelegenheit meiner Messung der Pendellänge für Königsberg, und besteht darin, dass die früher angewandte Theorie des Einflusses der das Pendel umgebenden Luft durch das Uebersehen eines wesentlichen Umstandes unrichtig war, und diesen Einfluss etwa nur halb so gross ergab, als er wirklich ist. Während Borda's und Kater's Messungen selbst bis auf einige Tausendtel einer Linie richtig sein werden, zeigen diese späteren Entdeckungen, dass die daraus abgeleiteten Resultate um einige Hunderttel einer Linie unrichtig sind. Obgleich aber jetzt die Bestimmung einer Pendellänge durch Beobachtungen von diesen beiden fremden Einflüssen, so wie von allen früher schon bekannt gewordenen befreiet werden kann, und man bis jetzt keine unberücksichtigte Einflüsse mehr hat finden können, so ist dieses doch eben so wenig jetzt als zu Borda's Zeit ein Beweis gegen ihr Vorhandensein.

Nach diesen Bemerkungen kann man leicht übersehen, welche Folgen es gehabt haben würde, wenn der Vorschlag von Huyghens, die Länge des einfachen Secundenpendels zur Masseinheit zu machen, zur Zeit seines Hervortretens Eingang gefunden und einen Staat veranlasst hätte, eine durchgreifende Revolution seines Masswesens darauf zu gründen. Man

würde diese Länge, so vollkommen es die Kunst und die Hülfsmittel der Zeit erlaubt hätten, gemessen, und das Mass dieser Messung zufolge festgesetzt haben. Nicht lange nachher, als man die Kenntniss erlangte, dass die Pendellänge sich mit der Entfernung ihres Beobachtungsortes vom Aequator vergrössert (von dem Aequator bis zu den Polen etwa um 2¼ Linien), würde man bemerkt haben, dass die Messung nur für den Ort, wo man sie ausgeführt hatte, gültig war, und also das eingeführte Mass nicht die ihm vorher zugeschriebene Eigenschaft besass, an allen Orten der Erde, in der Länge des einfachen Secundenpendels, auf gleiche Art hervorzutreten. Allein diese Bemerkung würde dem Masse die Eigenschaft, ein aus der Natur hergenommenes zu sein, nicht geraubt, sondern sie nur in Beziehung zu einem bestimmten Orte der Erde gebracht haben. Indessen waren die Mittel, durch welche man eine Messung der Pendellänge erlangen konnte, zu Huyghens Zeit noch so unvollkommen, dass sie die Gefahr eines Fehlers in den Zehnteln einer Linie eben so wahrscheinlich machten, als sie durch Borda für einen Fehler in ihren Tausendteln wurde; wenn also nicht etwa der günstigste Zufall die Richtigkeit der früheren Messung herbeigeführt hatte, so musste Borda's Messung zeigen, dass das früher eingeführte Mass nicht das beabsichtigte Naturmass war. Hätte man nun noch die Idee des Naturmasses aufrecht erhalten wollen, so hätte man durch das Vertrauen, welches Borda's schöne Messungen einflössten, veranlasst werden

können, die neue Bestimmung der Pendellänge als dieses nun gefundene Mass zu betrachten und in die Stelle des vorigen zu setzen. Allein der Glaube an den Besitz eines Naturmasses wäre von kurzer Dauer gewesen, indem die spätere Auffindung der beiden erwähnten Einflüsse auf die Pendellänge jetzt schon wieder gezwungen haben würde, entweder ihn fahren zu lassen, oder eine neue Festsetzung des Masses zu machen, an deren unveränderliches Bestehen jedoch nur Der glauben könnte, der seine Aussicht nicht über den zu seiner Zeit vorhandenen Zustand der experimentirenden Kunst zu erheben vermögte.

Die hier an einem Beispiele erläuterten Schwankungen eines aus Messungen abzuleitenden Naturmasses müssen immer hervortreten, welches auch der zu messende Gegenstand sein möge. Sie fehlen also auch nicht in dem aus dem Quadranten der Erdmeridiane abgeleiteten Meter; vielmehr kommt hier noch zu der in der Unvollkommenheit der Messungen begründeten Ursache derselben eine zweite, nämlich die Unbestimmtheit des zu messenden Gegenstandes, hinzu. Diese geht aus der Unmöglichkeit hervor, auf einem Meridiane der Erde, von dem Aequator zu einem ihrer Pole zu gelangen, wodurch die Erfindung der Entfernung beider von einander, auf einen Schluss, von einzelnen gemessenen Bögen des Meridians auf die Länge seines Quadranten, verwiesen wird, welcher nur durch die Voraussetzung der Kenntniss der Figur der Meridiane möglich wird. — Nun sind zwar Gründe vorhanden, welche wahrscheinlich machen,

dass die Figur der Erde, im Ganzen genommen, sich nicht sehr beträchtlich von der Figur eines durch Drehung einer Ellipse um ihre kleinere Axe erzeugten Sphäroides entfernt; allein wenn man von den vorhandenen Gradmessungen auch die ausschliesst, welche wegen ungenügender, auf ihre Ausführung verwandter Mittel, oder aus anderen Gründen, ihren Anspruch auf Sicherheit mehr oder weniger verlieren, so lassen die noch übrigbleibenden (es sind deren zehn) sich keinesweges durch die Voraussetzung jener sphäroidischen Figur der Erde vereinigen, wodurch sie zeigen, dass die Oberfläche der Erde an einigen Stellen mehr, an anderen weniger gekrümmt ist als jene. Die zuletzt ausgeführte dieser Gradmessungen, die in Ostpreussen, hat wahrscheinlich gemacht, dass die wirkliche Figur der Erde sich zu einer regelmässigen etwa verhält, wie die unebene Oberfläche eines bewegten Wassers zu der ebenen eines ruhigen, so wie auch, dass die einzelnen Ungleichheiten geringe, vielleicht einige Meilen nicht überschreitende Ausdehnungen besitzen. — Aus dieser Beschaffenheit der Figur der Erde geht hervor, dass eine Gradmessung nicht mehr bestimmen kann, als die Krümmung an einer Stelle eines Körpers, welcher keine regelmässige Figur besitzt; dass also, so viele derselben man auch besitzen mag, nicht mehr daraus gefolgert werden kann, als die Bestimmung desjenigen Sphäroides, welches allen zusammengenommen möglichst nahe, sicher aber nicht jeder Stelle der Erdoberfläche entspricht. — Diese Unregelmässigkeiten der Figur der

Erde sind es, welche die Unbestimmtheit der Länge ihres Quadranten erzeugen. Die Unvollkommenheiten der Messungen, welche sich dazugesellen, sind, wenigstens in dem jetzigen Zustande der astronomischen Kunst, verhältnissmässig beträchtlich grösser als die, welchen die Messung der Pendellänge ausgesetzt ist; ich glaube, dass man sie, selbst wenn ein Bogen des Meridians von 100 Meilen Länge gemessen wird, noch als zehnmal so gross annehmen muss.

Als das Meter eingeführt werden sollte, liess man die Ausführung einer grossartigen Unternehmung vorangehen, nämlich der Messung eines Bogens des Pariser Meridians, welche sich von Formentera bis nach Dünkirchen, über mehr als ein Achtel des ganzen Quadranten, erstreckt und den Vortheil darbietet, dass seine Mitte fast auf den 45. Breitengrad fällt, und daher die aus ihm abgeleitete Länge eines Grades sehr nahe die des mittleren Grades, oder sehr nahe die Länge des 90. Theils des Quadranten des Erdmeridians ist. Diese Länge wurde also durch die grosse französische Gradmessung fast unabhängig von einer Kenntniss der Abplattung der Erde bestimmt, und man fand sie = 57008,22 Toisen. Das Neunzigfache dieser Länge wurde also als die Länge des Quadranten des Erdmeridians angenommen, und der zehnmillionente Theil davon als das Meter, dessen Länge solchergestalt auf 3 Fuss 11,296 Linien, oder auf 443,296 Linien der Toise du Pérou festgesetzt wurde. Diese Länge wurde nun zu der gesetzlichen des Meters erklärt. Um sie materiell darzustellen,

wurde ein Stab von Platin verfertigt, dessen beide Endflächen, wenn er sich in der Wärme des schmelzenden Eises befindet, diese Entfernung haben sollen, und welcher als Probemass des Meters angesehen werden soll.

Aus den vorher gegebenen Erläuterungen wird klar, dass kein Grund vorhanden ist, das solchergestalt festgesetzte Meter für das beabsichtigte Naturmass zu halten. Die auf die Erfindung der Grösse und Figur der Erde gerichteten Unternehmungen werden immer ihren Fortgang haben, und sind, weit entfernt, von der behufs des Meters gesetzlich gemachten Bestimmung der Länge des Quadranten der Erdmeridiane zum Aufhören gebracht zu werden, seitdem gerade mit vermehrtem Eifer betrieben worden. Wirklich besitzen wir gegenwärtig schon zehn Gradmessungen, welchen sämmtlich gleiches Recht, zu der Erfindung der Grösse und Figur der Erde zu stimmen, eingeräumt werden muss. Ich habe ihr wahrscheinlichstes Resultat aufgesucht und es so gefunden, dass der mittlere Grad des Quadranten der Erdmeridiane dadurch = 57011,453 Toisen, also etwa 3¼ Toisen grösser wird, als er zur Festsetzung des Meters angenommen worden ist. Hieraus geht hervor, dass die Länge des ganzen Quadranten, welche wir jetzt für die wahrscheinlichste halten müssen, nicht mehr zehnmillionen, sondern zehnmillionen und 565 Meter ist; ihre nothwendige Schwankung würde, falls man die ursprüngliche Erklärung des Meters, nämlich dass es der zehnmillionte Theil des Erdqua-

dranten sei, nicht aufgeben wollte, auf den inneren Widerspruch führen, dass Brüche, deren Nenner von dem Zähler verschieden sind, dennoch = 1 seien. Man muss also diese Erklärung aufgeben und das Meter nicht als aus dem Erdquadranten, sondern als aus der Toise abgeleitet, ansehen. Um die Länge des Erdquadranten wieder auf zehnmillionen Meter zu bringen, müsste man diese um ein Vierzigstel einer Linie vergrössern; allein man würde durch diese Veränderung, wenn sie gleich viel grösseres Gewicht besitzt als die ursprüngliche Bestimmung, der Idee des Naturmasses ein erfolgloses Opfer bringen, indem nicht zu bezweifeln ist, dass jede noch hinzukommende Gradmessung wieder eine andere Länge des Meters ergeben würde. Die Unsicherheit, welche alle jetzt vorhandenen Gradmessungen zusammengenommen noch in der Länge des Meters übrig lassen würden, ist von etwa gleicher Grösse mit der daraus hervorgegangenen Veränderung ihrer früheren Bestimmung; allein wenn sie auch mit der Vergrösserung der Zahl dieser Messungen kleiner werden würde, so würde doch keine Vergrösserung derselben hinreichen, sie verschwinden zu lassen.

Ich glaube, jetzt jeden meiner Zuhörer überzeugt zu haben, dass der Besitz eines Naturmasses unerreichbar ist. Dass seine Anwendung zum Messen nicht leichter oder sicherer sein kann, als die Anwendung jedes beliebigen Masses, habe ich schon früher bemerkt. Sollte noch zweifelhaft geblieben sein, ob das unmittelbare Hervortreten von Längenmessungen

in der Form von Decimalbrüchen der Länge des Erdquadranten nicht Grund werden könnte, den Besitz eines Meters vorzugsweise vor jedem anderen Masse zu wünschen, so füge ich darüber noch hinzu, dass es durch eine leichte Rechnung ersetzt werden kann; dass der tägliche Verkehr aber nie die Veranlassung gegeben hat, diese auszuführen; dass wissenschaftliche Messungen, wenn man auch auf Fälle treffen sollte, in welchen die Kenntniss ihres Verhältnisses zu dem Erdquadranten wünschenswerth erschiene, der Rechnung nicht überheben würden, indem die anzunehmende Einheit dieses Verhältnisses die beabsichtigte runde Zahl von Metern weder jetzt ist, noch in der Folge sein wird. — Ich glaube in Beziehung auf wissenschaftliche Messungen einige Erfahrung zu besitzen, und erlaube mir daher, als deren Zeugniss anzuführen, dass mir noch kein Fall vorgekommen ist, in welchem die Anwendung des französischen Meters mir eine Rechnung hätte ersparen können.

Alle, welche die Einführung eines Naturmasses empfohlen haben, haben ihm den Vorzug angeeignet, es wiederfinden zu können, wenn es im Laufe der Zeit verloren gehen sollte. — In der That führt jede Kenntniss der früheren Messung einer noch vorhandenen Grösse auf das Mass zurück, welches ihr zum Grunde lag; aber sie führt auf das eine Mass nicht leichter und sicherer zurück als auf das andere: das Meter hat die Eigenschaft, durch die Angabe der Zahl von Metern, welche in der Länge des

Erdquadranten enthalten sind, wiedererkannt werden zu können, nicht in einem höheren Grade als jedes andere Mass, wovon man die ähnliche Angabe besitzt. Will man dennoch die Wiedererkennung des Meters durch den Erdquadranten für sicherer halten, als die Wiedererkennung eines anderen Masses, so kann sich dieses nur auf eine Zeit beziehen, welche die Tradition der runden Zahl Zehnmillionen erhalten, aber die Tradition einer weniger leicht auszusprechenden Zahl verloren haben wird, auf eine Zeit also, von welcher vorausgesetzt wird, dass sie die Nachrichten von den in der gegenwärtigen ausgeführten Messungen verloren habe. Dass jene Zeit noch grossen Werth darauf legen sollte, das Mass zu kennen, worauf die verlorenen Messungen beruheten, glaube ich nicht.

Indem ich nun gezeigt habe, dass ein sogenanntes Naturmass weder in der Leichtigkeit und Sicherheit seiner Anwendung zum Messen, noch in der Form, in welcher es Messungen ergiebt, noch in der Leichtigkeit und Sicherheit seiner Wiedererlangung im Falle des Verlustes, Vortheil vor jedem anderen Masse voraus hat, und indem ich keinen anderen Grund seines Vorzuges kenne: so muss ich der Meinung sein, dass es keinen Vorzug vor jedem anderen Masse besitzt. Um ein wirkliches Naturmass einzuführen, müsste man sich entschliessen, Jeden, der das wahre Mass verlangt, nicht an eine vorhandene materielle Darstellung, sondern an die Natur selbst zu verweisen, wovon aber, abgesehen von der am Tage liegenden

Unausführbarkeit, die unvermeidliche Folge sein würde, dass jeder Messung ein anderes Mass zum Grunde gelegt werden und ihr eigener Fehler sich mit der Schwankung der Ableitung des Masses vermischen würde. Wollte man, um das eben Gesagte an einem bestimmten Falle zu erläutern, das Mass nicht materiell, sondern allein durch sein Verhältniss zum Erdquadranten erklären, so würde man z. B. zwei Messungen der Länge des einfachen Secundenpendels, zur Zeit der Einführung des Meters und jetzt vorgenommen, wenn sie auch an sich völlig übereinstimmten, beträchtlich, etwa um ein Vierzigstel Linie, von einander verschieden finden; Messungen in späteren Zeiten, wenn wieder andere Längen des Erdquadranten die wahrscheinlichsten sein werden, würden, auch in dem Falle ihrer eigenen völligen Uebereinstimmung, stets andere und andere Längen des Secundenpendels angeben. Dieses ist zu sehr gegen den Zweck der Einführung eines Masses, als dass es je hätte die Absicht sein können, die Erfindung des Meters unmittelbar auf den Erdquadraten zu verweisen.

Wenn ich keinen Vortheil der Einführung eines Längenmasses, welches zu einer von der Natur dargebotenen Länge ein bestimmtes Verhältniss haben soll, habe finden können, so muss ich nicht minder gestehen, dass ich auch keinen Vortheil der Einführung von Massen der flüssigen Körper und der Gewichte, welche zu dem Würfel der Einheit des Längenmasses und der denselben füllenden Masse

Wassers ein einfaches Verhältniss haben, finden kann. Die Messung flüssiger Körper durch die Anzahl davon angefüllt werdender Masse ist viel leichter, als die geometrische Ausmessung der Räume, welche sie einnehmen, wesshalb auch die erste dieser beiden Messungsarten allein im Gebrauche ist. Sie gelingt offenbar gleich gut, welche Grösse auch das Mass haben möge; für das Messen ist es gleichgültig, ob diese ein einfach auszusprechender Theil des Würfels der Einheit des Längenmasses, oder ein anderer Theil davon ist. Zur Wiedererlangung des Masses im Falle seines Verlustes kann allerdings die geometrische Ausmessung seines Raumes führen; allein dieser Zweck ist nicht minder erreichbar, das Mass mag ein ursprünglich willkürliches, oder ein nach einer gewissen Absicht verfertigtes sein. — Wichtiger als das Mass für flüssige Körper und einer schärferen Bestimmung bedürftig, ist das Mass oder die Einheit der Gewichte. Ich habe schon angeführt, dass diese Einheit in dem metrischen Systeme die Masse des dichtesten Wassers ist, welche einen Cubus von einem Centimeter Seite ausfüllt; spätere Massgesetze verschiedener Länder machen die Gewichtseinheit gleichfalls von einer räumlich gegebenen Masse Wassers abhängig. Keine dieser Anordnungen fordert aber, dass man das Gewicht in jedem Falle aus dieser Erklärung ableite, also z. B. ein Gefäss auf die eine Schale der Wage setze, so viel Wasser hineingiesse, dass dem auf der anderen Schale befindlichen zu wägenden Körper dadurch das Gleichgewicht gehalten

wird, dann den Raum des Wassers ausmesse und hieraus das Gewicht des Körpers berechne; vielmehr fordert sie das Wägen durch eine materielle Darstellung des Gewichts und erklärt diese für gesetzlich. Diese Einführung eines materiell dargestellten Gewichts ist auch ohne Vergleich viel zweckmässiger, als seine Verweisung auf die Erklärung, welcher jenes übrigens eben so wenig entsprechen kann, als das eingeführte Meter dem Erdquadranten. Ich zweifle auch nicht, dass, wenn z. B. durch eine wiederholte, sehr genaue Wägung eines gegebenen Raumes des dichtesten Wassers ein anderes Gewicht, als das materiell eingeführte herausgebracht würde, ein dadurch entstehender Zweifel zum Vortheil des letzteren entschieden werden würde. *) In diesem Falle wäre also die Erklärung durch Raum und Wasser eine müssige, so wie beide Erklärungen jedenfalls mehr oder weniger stark einander widersprechen. Ich bemerke hier gelegentlich, dass die Wägung eines gegebenen Raumes des dichtesten Wassers, wenn sie eine bis auf ein Zehntausendtel des Ganzen gehende Sicherheit erlangen soll, keinesweges eine leicht aufzulösende Aufgabe, wahrscheinlich eine noch nicht aufgelösete ist. — Uebrigens gilt von der Einführung des Wassers in das Gewicht das Aehnliche von dem,

---

*) In Beziehung auf das Gramme scheint dieser Fall schon vorhanden zu sein; wenigstens vereinigen sich mehrere spätere Wägungen, dem Wasser ein etwas verschiedenes Gewicht zu geben, ohne dass desshalb eine Veränderung des Gramme gewünscht worden wäre.

was ich von der Einführung einer von der Natur dargebotenen Länge in das Längenmass gesagt habe; auch ist die Wiedererlangung des Gewichts, im Falle seines Verlustes, gleich leicht und sicher, das Gewicht mag einer Erklärung durch Raum und Wasser gemäss verfertigt, oder nach seiner willkürlichen Verfertigung zur Wägung des Wassers angewandt sein.

Ehe ich die Naturmasse ganz verlasse, muss ich noch etwas über das Zurückgehen von einer durch ein Mass angegebenen Grösse zu diesem Masse selbst sagen. Offenbar wird es in allen Fällen möglich, in welchen die Grösse seit ihrer Messung keine Aenderung erfahren hat; indem eine neue Messung sie durch das dazu angewandte Mass ausdrückt, die alte aber ihr Ausdruck durch das frühere, jetzt als unbekannt anzusehende ist, wird das Verhältniss beider Masse zueinander an den Tag gelegt. Allein dieses Verhältniss wird nicht in allen Fällen mit gleicher Sicherheit gefunden; sicherer durch Grössen, welche durch einfachere und genauere Methoden gemessen werden können; unsicherer durch solche, welche nur durch verwickeltere und in ihrer Ausführung geringere Genauigkeit zulassende Methoden messbar oder sogar mehr oder weniger unbestimmt sind. Dieses werde ich an dem Beispiele des Quadranten der Erdmeridiane erläutern, dessen Messung höchst zusammengesetzte Operationen erfordert. Endlich wird sie durch die Combination der Messungen von Meridiangraden, unter verschiedenen geographischen Breiten liegend, erlangt; aber jede von diesen führt nur durch mehrere von

einander gesonderte Schritte zu ihrem Resultate, nämlich zu der Kenntniss der Länge eines Bogens des Meridians, dessen Endpunkte genau einen Grad in ihren Polhöhen verschieden sind. Die Erfindung des irdischen Bogens fordert zuerst die Messung einer Linie auf der Oberfläche der Erde, und diese ist der einzige Theil der Operation, bei welchem das Längenmass selbst angewandt wird. Diese Linie wird zur Seite eines Dreieckes gemacht, dessen Winkel durch ein zu ihrer Messung geeignetes Instrument beobachtet werden und, sobald sie bekannt sind, durch trigonometrische Rechnung zur Kenntniss der beiden anderen Seiten führen; an dieses Dreieck wird ein zweites gelegt, welches durch die Kenntniss der ihm und dem vorigen gemeinschaftlichen Seite und die Beobachtung seiner Winkel gleichfalls vollständig bekannt und nun wieder die Grundlage eines dritten Dreiecks wird, von welchem man zu einem vierten übergeht etc. — Eine so aneinandergereihete Kette von Dreiecken wird von einem Punkte auf der Erde bis zu einem anderen, unter demselben Meridiane liegenden geführt, wodurch die Entfernung beider bekannt wird; sie durch unmittelbare Längenmessung von dem einen Punkte zum anderen zu suchen, also die Dreiecksmessung zu vermeiden, würde immer sehr zeitraubend, so wie auch nur dann ausführbar sein, wenn die zu messende Linie nicht über Berge und Wasser führte. Dann werden die Polhöhen der beiden Punkte, durch astronomische Beobachtungen festgesetzt, und aus der Vergleichung ihres Unterschiedes mit dem schon bekannt gewordenen,

zwischen ihnen liegenden Bogen des Meridians, wird gefolgert, welche Länge die letztere haben muss, damit jener Unterschied genau ein Grad wird. — So erlangte Gradmessungen sind die Grundlage der Kenntniss der Länge der ganzen Quadranten der Erdmeridiane. — Sollen nun Messungen dieser Art auf das dazu angewandte Mass zurückführen, so wird dieses offenbar mit desto grösserer Sicherheit geschehen, je näher an der wirklichen Anwendung des Masses das Moment der Messung liegt, von welchem man wieder zu demselben zurückgeht: am sichersten erkennt man also das Mass wieder, so lange die Endpunkte der Grundlinie noch vorhanden sind und man also diese neu messen kann; weniger sicher, wenn man durch das Verschwinden jener Endpunkte gezwungen wird, die Wiedererkennung auf die neue Messung der Entfernung eines anderen Paares von Dreieckspunkten zu gründen, denn dann gesellt sich schon die aus der Beobachtung der Winkel der Dreiecke hervorgehende Unsicherheit, zu der Unsicherheit der Messung der Grundlinie; noch weniger sicher, wenn keine Dreieckspunkte mehr vorhanden sind, und von der Messung nichts mehr übrig ist, als die Angabe der daraus gefolgerten Länge des Grades, denn zwischen diese und die irdische Messung schiebt sich noch die Unsicherheit der astronomischen Beobachtungen, welche übrigens zwar nach und nach in engere Grenzen eingeschlossen worden, jedoch noch immer verhältnissmässig grösser ist, als die der irdischen Messungen; am wenigsten sicher erkennt man endlich das angewandte

Mass wieder, wenn von den früheren Messungen nichts mehr übrig geblieben ist, als die Angabe der Länge des Quadranten der Erdmeridiane, denn diese ist nur durch die Combination verschiedener Gradmessungen, unter der Voraussetzung einer regelmässigen Figur der Meridiane, erlangt worden und wiederzuerlangen, von welcher Voraussetzung man weiss, dass sie nur näherungsweise richtig ist. — Man erkennt aus dieser Auseinandersetzung deutlich, wie das Mass, durch jedes weiter von ihm entfernte Moment des zu dem letzten Resultate führenden Weges, weniger befriedigend gefunden wird, als durch das frühere; dass es also höchst unzweckmässig sein würde, von einem späteren auszugehen, so lange ein früheres noch vorhanden ist. Die Erhaltung des Erdquadranten ist freilich unzweifelhafter, als die Erhaltung der Spuren der Schritte, welche zu der Kenntniss seiner Länge geführt haben; aber der grosse Vortheil, welcher durch die Erhaltung dieser Spuren gewonnen wird, fordert auf, über Mittel nachzudenken, wodurch sie möglichst gesichert werden kann: das Wünschenswertheste von Allem ist die Erhaltung des Urmasses selbst, und nächst dieser die seiner unmittelbaren Copien.

Alles, was ich bis jetzt von dem Masswesen gesagt habe, muss meine Ansicht davon klar genug an den Tag legen. Für unbegründet halte ich einen Vorzug einer Masseinheit vor jeder anderen, erkenne also auch nur einen Grund der Aenderung einer schon bestehenden an, nämlich den, ein Mass Mehreren

gemeinschaftlich zu machen. Für wesentlich halte ich dagegen die Erfüllung dreier Forderungen. Zuerst der Forderung, dass das Mass völlig unzweideutig gemacht werde, so dass jede darauf bezogene Messung keine aus einer Unbestimmtheit des Masses, sondern nur die aus ihrer eigenen Unvollkommenheit hervorgehende Unsicherheit erhalte. Ferner der Forderung, dass das festgesetzte Mass, durch jedes Erfolg verheissende Mittel erhalten werde; unter welchen Mitteln die dauerhafte Construction des Urmasses selbst das einzige ist, welches, so lange es seine Absicht nicht verfehlt, gar keine Zweideutigkeit in dem Masse entstehen lässt; welches aber in der Verfertigung möglichst genauer und dauerhafter, an verschiedenen Orten aufzubewahrender Copien, und ferner in der Ausführung von Messungen, welche auf das Mass gegründet werden, Unterstützungen finden wird, obgleich diese das Mass desto weniger unzweideutig wiedergeben, je zusammengesetzter sie sind. Endlich halte ich die Erfüllung der Forderung für wesentlich, dass, zugleich mit der Festsetzung des Masses, Mittel ergriffen werden, welche zur Erlangung möglichst vollkommener Copien davon, mit der möglichst grossen Leichtigkeit führen. Die Erfüllung dieser drei Forderungen, für jedes der festzusetzenden Masse, in vorzüglicher Strenge aber für das Längenmass und das Gewicht, ist das, was geleistet werden muss, wenn ein Masswesen, ohne Beschränkung auf das blosse Bedürfniss des Verkehrs, in Ordnung gebracht und erhalten werden soll.

Ich habe jetzt die Ansicht vollständig entwickelt, welcher ich gefolgt bin, indem ich den, mir im Jahre 1835 zu Theil gewordenen Auftrag der Königl. Preussischen Regierung auszuführen suchte, Massregeln für die endliche Regulirung des Preussischen Längenmasses zu ergreifen. Im Jahre 1816 ist ein Gesetz erschienen, durch welches die Länge des preussischen Fusses durch ein Urmass erklärt wird, welches damals bei dem Ministerio der Finanzen und des Handels niedergelegt worden ist. Dieses Urmass wird durch einen Stab von Eisen gegeben, welcher wenig länger als drei preussische Fusse ist, und auf welchem die Länge von drei Fussen, so wie auch ihre Eintheilungen in 36 Zolle und des letzten Zolles in 12 Linien, durch Striche aufgetragen sind, welche zwei, auf einer seiner breiten Seiten, der ganzen Länge nach, in etwa 0,4 Linien Entfernung voneinander, gezogene Parallelen senkrecht durchschneiden. Die Striche sind auf Silber gezogen, und zwar für die Zolle auf Stiften dieses Metalls, für die Linien auf einer eingelegten Platte. Dieser Stab ist von Herrn Pistor, zugleich mit drei, an geeigneten Orten niedergelegten Copien, verfertigt worden. Die von dem Gesetze ausgesprochene Absicht, welche seine Verfertigung leitete, war, den preussischen Fuss = 139,13 Linien des französischen zu machen; wodurch er dem, in Deutschland viel gebräuchlichen rheinländischen Fusse so nahe gebracht worden ist, als die über diesen bestehende Unsicherheit erlaubte.

Dieses Gesetz lässt einige Festsetzungen unerwähnt, welche zur unzweideutigen Erklärung des preussischen Fusses durch sein Urmass erforderlich sind. Als unzweifelhaft darf man indessen ansehen, dass dieser Fuss das Drittel der Entfernung der beiden äussersten Striche der Scale sein soll, gemessen in der Mitte zwischen den beiden Parallelen, zwischen welchen sie gezogen sind, und in derselben Wärme (= 16¼° des hunderttheiligen Thermometers) welche die Toise du Pérou besitzen muss, wenn sie sechs französische Fusse lang sein soll. Dagegen glaube ich nicht, dass eine dritte, gleichfalls unerwähnte, zur unzweideutigen Erklärung des preussischen Fusses erforderliche Festsetzung, ohne ausdrückliche Bestimmung geblieben sein würde, wenn man ihre Nothwendigkeit im Jahre 1816 schon gekannt hätte. Später hat nämlich Kater darauf aufmerksam gemacht, dass jede Krümmung eines Stabes, auf dessen Oberfläche zwei Punkte oder Striche aufgezeichnet sind, deren Entfernung ein Längenmass bestimmen soll, weit sorgfältiger vermieden werden muss, als man früher für nothwendig hielt; dass also die Verzeichnung der Punkte oder Striche allein, nicht zur unzweideutigen Bestimmung des Masses hinreicht, sondern dass sie von einer Vorschrift begleitet sein muss, welche den Zustand festsetzt, in welchem sich die Figur des Stabes befinden soll, damit er das beabsichtigte Mass ergebe. Die Ursache dieses, früher übersehenen Einflusses jeder Krümmung ist, dass sie die Mittellinie des Stabes weder verkürzt noch verlängert, auch die

auf ihr senkrechte Lage seiner Endfläche nicht ändert, also seine, durch sie convex werdende Oberfläche nothwendig verlängert und die concav werdende verkürzt. Ihr Einfluss auf einen Stab von der Beschaffenheit des unsrigen ist so gross, dass ein zwischen ihn und eine Ebene, worauf er liegt, geschobenes Kartenblatt, die Entfernung seiner beiden äussersten Striche schon um mehrere Tausendtel einer Linie ändern kann; selbst die Krümmung, welche er durch seine eigene Schwere erfährt, indem er an zwei Punkten aufgelegt wird, ändert diese Entfernung wesentlich: ich habe durch Rechnung gefunden, dass seine Auflegung an beiden Enden, sie um $6\frac{1}{4}$ Tausendtel einer Linie verkürzt; dass diese Verkürzung kleiner wird, so wie die Ruhepunkte von den Enden entfernt werden; dass sie verschwindet um in eine Verlängerung überzugehen, wenn die Ruhepunkte $7\frac{3}{4}$ Zoll von den Enden des Stabes entfernt sind. — Die fehlende Bestimmung der Art, wie der Stab bei seinen Anwendungen aufgelegt werden soll, erzeugt also eine Unbestimmtheit der vorhandenen Erklärung des preussischen Fusses; eine Unbestimmtheit, welche grösser ist als die, mit welcher man ihn, durch die im Gesetze ausgesprochene beabsichtigte Länge, wiedererkennen kann.

Man hätte diese Unbestimmtheit durch eine nachträgliche Festsetzung wegschaffen können; allein es würde nicht gelungen sein, eine Vorschrift, welche sicher zu der unveränderten Länge des Masses zurückführte, auch für den Fall zu geben, dass der Stab seine ursprüngliche Figur bleibend veränderte, was

in Folge eines ihn treffenden Zufalls, oder einer Unvorsichtigkeit seiner Behandlung, so leicht eintreten kann, dass es nicht rathsam erscheint, die Erhaltung des Urmasses auf so schwachen Grund zu bauen. — Diese Unsicherheit hat jedes, auf ähnliche Art eingerichtete Urmass. Man vermeidet sie aber, wenn man die Erklärung eines Masses nicht von der Entfernung zweier Punkte oder Striche auf der Oberfläche eines Stabes, sondern von der Entfernung seiner beiden Endflächen, abhängig macht; denn es hat keine Schwierigkeit, dem Stabe so grosse Steifheit zu geben, dass weder die aus seiner eigenen Schwere hervorgehende, noch jene unabsichtlich entstehende, bleibende Krümmung, die Entfernung seiner Endflächen, in seiner, dadurch ungeändert bleibenden Mittellinie gemessen, wirklich verändern könnte. Diese Einrichtung eines Urmasses — dieselbe, welche die Urmasse der Toise und des Meters besitzen — ist also seinem Zwecke angemessener als die andere. Allein sie empfiehlt sich auch durch andere, nicht minder wesentliche Vorzüge: die Endflächen eines Stabes können von so harter Materie gemacht, und so sicher mit ihm verbunden werden, dass ihre Erhaltung dadurch ungleich stärker versichert wird, als die der nothwendig sehr feinen Punkte oder Striche auf der Oberfläche; ferner können Copien von gleicher Genauigkeit, weit leichter von einem Endflächenmasse, als von einem Strichmasse erlangt werden, indem die Berührung von Flächen mit einer fast unbegrenzten, die des mikroscopischen Sehens von Strichen überschreitenden

Sicherheit beobachtet werden können. Diese Vorzüge eines Endflächenmasses liessen nicht zweifelhaft, dass man die noch nothwendige bestimmte Erklärung des preussischen Fusses, auf ein solches gründen, und nicht etwa durch eine nachträgliche, sich auf das vorhandene Strichmass beziehende Festsetzung, zu erlangen suchen musste. Hierbei musste man der im Gesetze ausgesprochenen Absicht, den Fuss = 139,13 Linien des französischen zu machen, eben so folgen wie man ihr auch früher gefolgt war. *)

Das neue preussische Urmass ist ein Stab, nicht mehr von Eisen, sondern von Gussstahl, dessen quadratische Durchschnitte ¾ Zoll Seite haben. Eine, über die Grenzen seiner Elasticität hinausgehende Biegung eines solchen Stabes von 3 Fuss Länge, würde eine so beträchtliche Kraft erfordern, dass man ihr unabsichtliches Entstehen nicht fürchten darf. Seine Endflächen sind durch abgekürzte Kegel von Sapphir armirt, deren grössere Grundflächen sich im Inneren des Stabes befinden, und deren kleinere sehr wenig über seine ebenen Endflächen hervorragen; sie sind in Gold gebettet und die Construction ihrer Befestigungsart ist so gewählt, dass sie die Entfernung ihrer Oberflächen voneinander, gegen die Zufälligkeiten

*) Diese Absicht ist von Herrn Pistor so vollkommen erreicht worden, dass ich, zwischen dem von ihm im Jahre 1816 verfertigten Masse und ihr, keinen, mit Sicherheit angeblichen Unterschied habe finden können. Bei den Messungen, woraus dieses hervorgegangen ist, lag das Mass auf einer Fläche, welche von einer Ebene nicht beträchtlich verschieden gewesen sein kann.



schützen wird, welche das Urmass bei seinen Anwendungen erfahren mag; gegen Abnutzung und Beschädigung gewährt ihre Härte Sicherheit; gegen die Erweiterung ihrer Betten durch Rost schützt das Gold. Die Entfernung der beiden äusseren Oberflächen der Sapphire, in der Axe des Stabes, und in der Wärme von 16°,25 des hunderttheiligen Thermometers gemessen, dient zur Erkennung von drei preussischen Fussen. Eine Vorschrift über die Auflegungsart des Stabes, bei seiner Anwendung, ist unnöthig, da selbst die, die Entfernung seiner Endflächen am meisten verkürzende, nur eine Wirkung äussert, welche sich, wegen ihrer Kleinheit, jeder Messung entzieht.

Dieser Stab ist von Herrn Baumann in Berlin verfertigt worden, welchem ausgezeichneten Künstler ich auch alle übrigen Apparate verdanke, welche, im Laufe meiner Beschäftigungen mit dem preussischen Längenmasse angewandt worden sind. Die Absicht, die die Länge dieses Masses bestimmende Entfernung der Sapphire, der dreimaligen Länge des Fusses, oder 417,39 französischen Linien, gleich zu machen, ist, durch die Anwendung geeigneter Mittel, innerhalb eines Tausendtels einer Linie erreicht worden. Allein so weit die Sorgfalt in seiner Verfertigung auch getrieben sein mag, so kann sie doch in der Messung, nach der Verfertigung, noch viel weiter getrieben werden; man musste also, um die Länge des Stabes, im französischen Masse ausgedrückt, so genau als möglich zu erfahren, nachherige Vergleichungen mit diesem Masse vornehmen. Eine daher gemachte Reihe

von Messungen ergab, dass er 417,38939 französische Linien lang, also 0,00061 einer solchen, oder 0,00063 einer preussischen Linie kürzer als beabsichtigt ist. Obgleich es nun wirklich ganz gleichgültig ist, ob der, nicht etwa schon festgesetzte, sondern erst festzusetzende preussische Fuss, ein Paar Zehntausendtel einer Linie länger oder kürzer gewählt wird, und man daher den Stab geradezu für drei preussische Fusse hätte erklären können, so konnte doch auch der Zufall, der dem Stabe diese und keine andere, ihr innerhalb enger Grenzen nahe kommende Länge gegeben hatte, nicht Grund einer Abweichung von einer schon ausgesprochenen Absicht werden; indem man ihr aber treu blieb, so gewann man dadurch den Vortheil, die Deutlichkeit des Gesetzes nicht ohne Grund beeinträchtigen zu dürfen. Der Stab wurde daher durch die Aufschrift:

„Urmass der preussischen Längeneinheit. 1837.
„Dieser Stab, in der Wärme von 16°,25 des hun-
„derttheiligen Thermometers, in seiner Axe ge-
„messen, ist 0,00063 Linien kürzer als drei Fusse“

zur Grundlage der preussischen Längenmasse erklärt, auch, durch ein Königliches Gesetz vom 10. März 1839, in dieser Eigenschaft ausschliesslich anerkannt.

Indem hierdurch der preussische Fuss fest und unzweideutig erklärt worden ist, erlangt man durch seine vorher erwähnte Vergleichung mit dem französischen Fusse, sein Verhältniss zu diesem, nämlich 139,13: 144 = 1: 1,03500323 = 0,96618056: 1 und kann also jede mit dem einen dieser Masse gemessene

Grösse durch das andere ausdrücken. Diese Vergleichung beider Masse beruhet auf 48 Mal, an acht verschiedenen Tagen wiederholten Messungen, deren Uebereinstimmung untereinander so gross ist, dass die sich zwischen den 48 einzelnen Bestimmungen der 3 Fusse zeigenden Unterschiede, den mittleren Fehler einer davon nicht grösser als ein Viertausendtel einer Linie und den mittleren Fehler des aus allen zusammengenommen gezogenen Resultats gar nur ein Siebenundzwanzigtausendtel einer Linie gross angeben, wodurch die siebte Decimalstelle des Verhältnisses noch nicht um eine volle Einheit geändert werden würde. Obgleich ich, der Absicht dieses Aufsatzes gemäss, jedes Eingehen auf Einzelnheiten vermeiden darf, so mögen doch einige Worte andeuten, wodurch diese Messungen eine so grosse, die gewohnten Grenzen überschreitende Genauigkeit erhalten haben. Vorzüglich schreibe ich diese dem Vermeiden kleiner, sich dem Erkennen durch das Thermometer entziehender Verschiedenheiten der Wärme der beiden zu vergleichenden Masse zu, welche ich dadurch erlangt habe, dass ich alle Messungen in einem Bade von Weingeist vornahm, welches die Masse und den Messungsapparat zugleich einschloss; ferner der dem letzteren gegebenen Einrichtung, welche nur auf dem Berühren von Flächen beruhet und alles mikroscopische Sehen ausschliesst; dann einer schärferen Untersuchung der Mikrometerschrauben dieses Apparats; und endlich seiner tadellosen Ausführung durch Herrn Baumann, so wie auch der immer bereiten Hülfe dieses talentvollen Künstlers.

Für so befriedigend man aber auch die Bestimmung des Verhältnisses der beiden Masse halten mag, so darf man doch nicht übersehen, dass das angewandte französische nicht die Toise du Pérou selbst, sondern eine von Herrn Fortin in Paris verfertigte, im Besitze der Königsberger Sternwarte befindliche Copie davon ist, welche jedoch durch die Herren Arago und Zahrtmann mit ihrem Originale verglichen worden ist und dadurch die grösstmögliche Authenticität erhalten hat. Dieselbe Länge, welche diese Copie der Toise giebt, ist früher den Messungen der Pendellängen von Königsberg, Güldenstein und Berlin und der Ostpreussischen Gradmessung zum Grunde gelegt worden. Indessen befinden sich noch zwei andere, gleich authentische Copien der Toise du Pérou, in der reichen Sammlung von Instrumenten, welche Herr Etatsrath Schumacher in Altona zusammengebracht hat; diese habe ich, durch denselben Baumann'schen Apparat dessen ich erwähnt habe, mit der vorigen Copie vergleichen können und die eine, gleichfalls von Fortin gemachte 0,0025 einer Linie länger, die andere, von Gambey gemachte 0,0049 einer Linie kürzer gefunden. Es geht hieraus hervor, dass die Copien der Toise du Pérou Unsicherheiten besitzen können, welche zwar für die meisten Anwendungen nicht von grosser Bedeutung sind, jedoch auch oft nicht als unerheblich betrachtet werden dürfen. Sollte man in der Folge auch im Auslande zu noch sicherer Kenntniss der wahren Länge der Toise du Pérou gelangen, so

kann sich dadurch das angegebene Verhältniss der beiden Masse noch ändern. So wie ich es angegeben habe, bezieht es sich auf die Königsberger Toise, und diese kann man dadurch, aus dem preussischen Fusse, mit grosser Sicherheit erkennen. Ich habe dieses, obgleich es, nach der Festsetzung des preussischen Fusses, keinen Einfluss mehr darauf hat, angeführt, damit daraus hervorgehen möge, in wiefern man ihn als mit dem französischen Masse in Verbindung gesetzt betrachten kann, mit welchem viele andere Masse verglichen worden sind, und worauf viele wissenschaftliche Messungen beruhen.

Das eigentliche Ziel meiner Bemühungen wegen des preussischen Masses ist die Anordnung von Massregeln, welche auf einem, Jedem zugänglichen Wege, zu der Erlangung von Copien davon führen sollen, deren Sicherheit, selbst für die feinsten wissenschaftlichen Messungen, Befriedigung gewährt. Ich betrachte das Vorhandensein eines unzweideutigen Urmasses, so lange als erfolglos, als es nicht mit solchen Massregeln in Verbindung gesetzt ist; ich kenne auch den Werth eines genauen Masses, und die bisherige Schwierigkeit oder Unmöglichkeit, es zu erlangen, aus zu vielen eigenen und fremden Erfahrungen, als dass ich zweifeln könnte, dass die jetzt in Preussen ergriffenen, auf diese Erlangung gerichteten Massregeln, nicht Aufmerksamkeit verdienen sollten.

Eine authentische Copie des preussischen Masses muss ein Stab von weichem Gussstahl, wovon auch das Urmass gemacht ist, sein; beide haben auch

gleiche Dicke und gleiche, oder sehr nahe gleiche Länge. Statt der Endflächen von Sapphir, welche das Urmass besitzt, hat die Copie Endflächen von gehärtetem Stahl, welche, nach ihrer festen Verbindung mit dem Stabe, eben und genau senkrecht auf seine Axe abgeschliffen und polirt sind. Um diese Endflächen vor Staub und Rost zu schützen, werden sie durch cylindrische Kapseln von Messing verdeckt, welche auf die cylindrisch abgedreheten Enden des Stabes geschoben werden. — Die so beschaffenen Stäbe verfertigt Herr Baumann. Wenn sie gänzlich vollendet sind, werden sie mit dem Urmasse verglichen, wodurch man ihre Länge (in der Wärme, in welcher die Vergleichung vorgenommen ist) in preussischem Masse ausgedrückt, erfährt. Dann erhält der Stab die Aufschrift:

> (Jahreszahl). Dieser Stab, in der Wärme von * * Graden des hunderttheiligen Thermometers, in der Axe seiner cylindrischen Enden gemessen, ist * * Linien länger (kürzer) als drei preussische Fusse.

Durch diese Aufschrift wird er zur authentischen Copie des preussischen Masses. Um eine solche zu erlangen, muss man sich an die Königliche Normal Eichungs-Commission in Berlin wenden, welche derselben auch die Originalvergleichungen beilegt, woraus die in den Stab eingegrabenen Zahlen hervorgezogen sind. Die Kosten davon betragen 60 preuss. Thaler.

Damit man den Erfolg beurtheilen könne, welchen diese Massregel verheisst, muss ich auf die Art der

Vergleichung der Copie mit dem Urmasse, etwas näher eingehen. Sie wird durch einen Apparat erlangt, welcher zwei sehr feine, mit Repsold'schen Wasserwagen-Fühlhebeln versehene, auf einem Balken von Mahagoniholz befestigte Mikrometer besitzt, zwischen welche, abwechselnd, das Urmass und die Copie gebracht werden können. Beide liegen nebeneinander auf einem Wagen, welcher sich nur senkrecht auf die Mikrometerlinie bewegen kann, und dessen Bewegung an zwei Punkten gehemmt wird, nämlich dann, wenn die Axe, entweder des einen, oder des anderen Stabes sich in dieser Linie befindet; dieses geschieht durch sein Anstossen an die Spitzen zweier Schraubenpaare, welche bei jeder Anflegung der Stäbe so gestellt worden, dass jeder von ihnen dadurch in die beabsichtigte Lage gelangt, und hat zur Folge, dass sie ohne weitere Aufmerksamkeit, sehr schnell nacheinander, abwechselnd zwischen die Mikrometer gebracht werden können, so dass der Einfluss der Körperwärme des Beobachters auf sie und den Apparat, durch diese Einrichtung so viel als möglich abgekürzt wird. Um das Resultat einer Vergleichung der beiden Stäbe, von der Voraussetzung ihrer völlig richtigen Centrirung in die Mikrometerlinie, zu befreien, ist eine Wiederholung, nach einer vorgenommenen Umwendung beider, erforderlich. Jede dieser beiden Vergleichungen, unter der Aenderung einiger äusseren Umstände wiederholt, fordert einen Zeitaufwand von einer Viertelstunde oder etwas mehr; das Mittel aus beiden ist, insofern nur die Messungs-

fehler in Betracht gezogen werden, eine sehr beträchtliche, selten mehr als zwei Zehntausendtel einer Linie zweifelhaft lassende Annäherung.

Allein so sicher der Apparat an sich ist, und so fein seine Mikrometer sind, so würde man doch wenig wirklichen Vortheil aus diesen guten Eigenschaften haben ziehen können, wenn es nicht gelungen wäre, Mittel zu finden, die Gleichheit der Wärme beider Stäbe hinreichend zu versichern. Man bemerkt die Schwierigkeit, diese Gleichheit hervorzubringen, erst wenn der Apparat so eingerichtet und ausgeführt ist, dass er eine sehr grosse Genauigkeit gewährt. Eine Erwärmung eines Stahlstabes von 3 Fuss Länge, um den Vierundvierzigsten Theil eines Grades des hunderttheiligen Thermometers, ändert seine Länge schon um ein Zehntausendtel einer Linie, und eine Aenderung um fast einen Viertelgrad ist erforderlich, um sie um ein Tausendtel Linie zu ändern. Gewährt daher die Messung, an sich selbst, nicht eine unter ein Tausendtel Linie hinabgehende Sicherheit, so wird die Schwierigkeit, die Wärme beider Stäbe gleich zu machen und zu erhalten, wohl kaum hervortreten, indem ihr Nebeneinanderliegen während einiger Stunden wohl hinreichen wird, eine Ausgleichung der Wärme bis auf diesen Unterschied hervorzubringen, und durch die Nähe des Beobachters keinen neuen Unterschied von dieser Grösse entstehen zu lassen; aber dasselbe Mittel versagt seinen Erfolg, wenn die Gleichheit der Wärme bis auf eine zehnmal kleinere Grösse stattfinden soll. Die Verschiedenheit der

Strahlung der Wärme nach oder von entgegengesetzter Seite des Zimmers, in welchem der Apparat sich befindet, erzeugt, meinen Erfahrungen zufolge, viel grössere Unterschiede, und ihre Ausgleichung geht so langsam vor sich, dass man weit eher erwarten kann, eine neue Ungleichheit entstehen, als eine vorhandene verschwinden zu sehen. Zwar könnte man diese Schwierigkeit durch die Anwendung desselben Mittels, welches sich in meinen früher angeführten Messungen so erfolgreich erwiesen hat, nämlich durch die Umgebung beider Stäbe mit einer Flüssigkeit, beseitigen; allein da die Anwendung dieses Mittels, die Zahl der Möglichkeiten, das Urmass und den Apparat zu beschädigen, vermehrt haben würde (wenn sie auch, bei der Anwendung gehöriger Vorsicht ihnen keine Gefahr bringen kann), und hier eine Massregel zu ergreifen war, welche nicht etwa jetzt allein, sondern während einer unbestimmt langen Zeit, befolgt werden soll, so musste sie, meiner Meinung nach, so gewählt werden, dass dadurch auch Unachtsamkeit und Nachlässigkeit nicht leicht die Kraft erhalten, einen nachtheiligen Einfluss auszuüben. Ich glaubte daher, auf die Anwendung einer Flüssigkeit Verzicht leisten und ein anderes Mittel suchen zu müssen. Offenbar wurde es nun wesentlich, die Copien von demselben Materiale, denselben Abmessungen und derselben Art der Bearbeitung zu machen, welche bei dem Urmasse stattfinden; denn ohne diese Uebereinstimmung verschwindet alle Aussicht, die Wärme beider Stäbe, trotz der äusseren Störungen und des nie fehlenden

Schwankens der Wärme der sie umgebenden Luft, fortwährend gleich zu erhalten. Ich erwartete einigen Erfolg von einer Verdeckung des Apparats, d. i. der Mikrometer, des Wagens und der Stäbe, durch einen genau anschliessenden Deckel von Mahagoniholz, aus welchem nur die Köpfe und Trommeln der Mikrometerschrauben hervorragten, und welcher nur zwei verglaste, gleichfalls noch durch Holz verdeckte Oeffnungen besitzt, um dadurch die Angabe der auf den Stäben liegenden Thermometer ablesen zu können. Allein als ich Versuche mit dieser Einrichtung, in meinem Zimmer machte, zeigten auch sie noch Schwankungen der relativen Länge der Copie, welche oft über ein Tausendtel einer Linie gingen, und durch Veränderungen der Stellung des Apparats gegen die Fenster und den Ofen, so wie auch durch die Umgebung des letzteren durch einen Schirm, nicht weggeschafft wurden. Erst als ich den Apparat in ein ungeheiztes Zimmer des Kellergeschosses der Sternwarte brachte, dieses sorgfältig verschloss und nur von Zeit zu Zeit hineinging, um eine Vergleichung zu machen, gelangen die Vergleichungen nach Wunsche; denn nun zeigte sich unter 14 vollständigen Vergleichungen einer Copie mit dem Urmasse keine einzige Abweichung von ihrem Mittel, welche zwei Zehntausendtel einer Linie beträgt, während nur 4 darunter sind, welche mehr als ein Zehntausendtel Linie davon verschieden sind. Hierdurch war die Bedingung gefunden, deren Erfüllung gefordert wird, wenn die Vergleichung einer Copie mit dem Urmasse

eine sehr grosse Sicherheit erhalten soll. Um die Grösse eines Zehntausendtels einer Linie anschaulich zu machen, führe ich an, dass es etwa ein Dreihundertel der mittleren Dicke eines Menschenhaars ist.

Die Aufschrift jeder Copie giebt die Länge, im wahren preussischen Masse ausgedrückt, an, welche sie in der Wärme hatte, in welcher sie mit dem Urmasse verglichen wurde; nicht etwa ihren unmittelbar gemessenen Unterschied von diesem. Um sie kennen zu lernen, musste man die Länge des Urmasses, nicht allein in seiner Normalwärme (= 16°,25C), sondern auch in jeder anderen Wärme, also ihre Aenderung für jeden Grad der Thermometeränderung, kennen. Um auch in dieser Beziehung nichts zu wünschen übrig zu lassen, wurde ein eigener Apparat verfertigt, welcher zur Bestimmung der Grösse der Wärmeänderungen des Urmasses diente, und durch welchen ich gefunden habe, dass jeder Grad der Aenderung des hunderttheiligen Thermometers, einen Einfluss von 0,004375 preussischen Linien auf das Urmass hat. — Will der Besitzer der Copie annehmen, dass der Stahl, woraus sie verfertigt worden ist, gleiche Ausdehnbarkeit durch die Wärme, wie der Stahl des Urmasses besitzt, so kann er, durch die Annahme der für dieses gefundenen Grösse derselben, von der aufgeschriebenen Länge, zu der Länge der Copie in der Normalwärme zurückgehen. Allein man würde ihm mit Unrecht in dieser Annahme vorgreifen, sondern muss sie zu machen, oder durch eigene Versuche über die Ausdehnbarkeit zu ersetzen

suchen, so wie alle Mittel zur Benutzung der Copie, ihm selbst überlassen.

Einen beträchtlichen Vorzug besitzen die Copien des preussischen Masses dadurch, dass sie unmittelbar durch Vergleichung mit dem Urmasse, und nicht etwa mit einer vermittelnden Copie erlangt werden. In anderen Staaten, deren Masswesen auch regulirt worden ist, hat man vorgezogen, das Urmass selbst den gewöhnlichen Anwendungen unzugänglich zu machen, um es vor Beschädigung und Abnutzung zu sicheren. Mir schien dieses gegen seinen eigentlichen Zweck zu streiten, wesshalb ich vorzog, die Sicherheit seiner ungeänderten Erhaltung in der Dauerhaftigkeit seiner Construction zu suchen. Ich sehe wirklich nicht, was die Endflächen von Sapphir beschädigen könnte, da keine Veranlassung vorkommen kann, sie mit dem einzigen bekannten härteren Körper — Diamant — in Berührung zu bringen; auch zeigt sich ein Stab von Stahl, von $\frac{3}{4}$ Zoll Breite und Dicke, zu unempfindlich gegen Versuche ihn bleibend zu krümmen, als dass eine Unvorsichtigkeit seiner Behandlung diesen Erfolg haben könnte. Die getroffene Einrichtung, dass er immer auf dem Vergleichungsapparate, gehörig verdeckt, liegen bleibt und bei jeder Anwendung nur einmal, nämlich bei seiner Umwendung, mit den Händen berührt wird, vermindert übrigens die Gefahr, dass Unvorsichtigkeit ihn beschädigen möchte, wie ich glaube, bis zum Verschwinden. — Indessen bleiben immer Zufälle möglich, welche man nicht abwenden kann; eine Vermehrung des Schutzes gegen diese

kann nur die Verbreitung von guten Copien des Urmasses gewähren, wesshalb es immer wünschenswerth bleibt, einige derselben an verschiedenen Orten des Staates, ungebraucht aufzubewahren.

Nachdem die Möglichkeit, gute Copien des Urmasses, durch geringe Mühe, in Folge geeigneter Vorrichtungen und eines geordneten Geschäftsganges, erlangen zu können, klar geworden war, wurden das Urmass und der Vergleichungsapparat von Königsberg wieder nach Berlin gebracht, dort in einem, möglichst vortheilhaft eingerichteten und gegen Feuersgefahr möglichst gesicherten Raume aufgestellt, und die fernere Anwendung derselben der Königl. Normal-Eichungs-Commission überlassen. Diese hat ihrerseits, Herrn Baumann, den Künstler selbst, welcher der ganzen Angelegenheit so ausgezeichnete Dienste geleistet hat, und in das eigentliche Wesen aller Einrichtungen am tiefsten eingedrungen sein muss, mit der Anstellung der Vergleichungen beauftragt. — Ich hege nun die Hoffnung, dass es in der Folge keine Schwierigkeit mehr haben wird, das lange gefühlte Bedürfniss der Erlangung zuverlässiger Längenmasse, zu befriedigen. Selbst die feinste wissenschaftliche Anwendung kann, wenigstens gegenwärtig, auf ein Mass gegründet werden, dessen drei Fusse nicht mehr als höchstens zwei Zehntausendtel einer Linie, oder dessen Einheit weniger als ein Zweimilliontel von ihr, unsicher ist. Wird aber eine vermehrte Kraft des Messens die Forderung noch erhöhen, so wird sie auch die Mittel liefern, sie zu befriedigen; denn der

einfachsten aller Messungen, der einer Copie des Urmasses, wird immer eine Sicherheit gegeben werden können, welche die aller anderen gleichzeitigen, so wie jetzt, übertrifft.

So wie die beschriebenen Massregeln jede Unbestimmtheit des preussischen Längenmasses beseitigen, auch Copien desselben, von der erforderlichen Genauigkeit für jeden Zweck, zur Folge haben werden, so ist auch zugleich ein Schritt geschehen, welcher die Gleichheit des Längenmasses in zwei Ländern hervorgebracht hat. Die Königl. Dänische Regierung hat nämlich ihr nun festzusetzendes Mass genau so lang angenommen, wie das, wovon hier die Rede ist; auch hat sie ganz ähnliche Massregeln zu seiner Verbreitung durch Copien ergriffen. Ich hoffe, dass Herr Etatsrath Schumacher, welcher diese Angelegenheit geleitet hat und leitet, uns bald die Nachricht von ihrer gänzlichen Vollendung geben wird; nach welcher man dann gleich genaues Mass aus Copenhagen, wie aus Berlin, wird erhalten können.

Ueber den Magnetismus der Erde.

Die Natur legt nicht ihre einfachen Gesetze zu Tage, sondern nur die Folgen derselben — Erscheinungen, welche gewöhnlich sehr verwickelt sind. Wenigen ist es vorbehalten, diese zu deuten; den Wenigen, welche angeborene Fähigkeit zum Uebergehen von den Folgen zu den Ursachen durch Uebung gestärkt haben. Mehrere können diesen Vorgängern folgen, auch die Deutung vervollständigen. Viele aber wollen sich begnügen, die Deutung bloss kennen zu lernen. Wie allgemein der Wunsch ist, von den Erscheinungen der Natur und ihren Gesetzen wenigstens etwas zu sehen, zeigt sich vielleicht schon in den Spielen des Knaben, der den Papierdrachen, den Kreisel, die magnetische Fischangel u. s. w. anderem Spielzeuge vorzieht, welches nicht, wie dieses, auf seltener hervortretende Kräfte, oder Eigenschaften der Bewegung gegründet ist. Der Wunsch etwas davon zu lernen zeigt sich in dem, obgleich oft getäuschten, doch fortdauernden Verlangen nach Schriften, welche Gegenstände der Natur populär zu behandeln versprechen, oft aber nur unbefriedigende Oberflächlichkeit

zeigen, er zeigt sich in der Zahl Derer, die sich zu den öffentlichen Vorträgen Alexanders von Humboldt drängten.

Die Befriedigung dieses Wunsches fordert eine Art der Darstellung der Verbindung zwischen der Erscheinung und den Gesetzen der Natur, welche nur solche Kenntnisse voraussetzt, die als allgemein verbreitet angenommen werden können. Die übliche, wenigstens unter den deutschredenden Völkern übliche Art des Unterrichts ist im Allgemeinen noch die einer Zeit angemessene, welche, nach Popes Ausspruch „die Natur und ihre Gesetze in Nacht verbarg.“ — Die ihr entsprechenden Kenntnisse sind nicht die, welche den Ueberblick über den Zusammenhang zwischen den Erscheinungen und den Gesetzen der Natur erleichtern können; sie bleiben desto entfernter davon, jemehr die Verbindung zwischen beiden durch das Reich der Grössen führt. — Mein gegenwärtiger Gegenstand erscheint mir als einer von denen, deren Darstellung besonders schwierig ist; ich fühle seine Schwierigkeit desto stärker, da ich selbst keinen Theil an seiner Erforschung habe und daher der grossen Unterstützung entbehre, welche eigenes Eingreifen dem Darsteller gewährt. Ich habe bis jetzt vergebens gehofft, dass Alexander von Humboldt oder Carl Friedrich Gauss das was sie gesucht, und gefunden haben und das was ihre Anregung Andere zu leisten veranlasst hat, zur allgemeinen Kenntniss bringen würden. Ungern versuche ich, mit der Aussicht auf geringeren Erfolg, was, von ihnen ausgehend,

einen weit grösseren haben würde. Aber alle Bedenklichkeiten schwinden vor der Bedeutsamkeit des Gegenstandes selbst, welcher, durch deutsche Kräfte, in unserm Jahrhundert, auf einen Standpunkt gelangt ist, wo er sich der allgemeinen Aufmersamkeit nicht mehr verbergen kann und darf.

Es giebt bekanntlich ein Eisenerz — den Magnetstein — welches zwei Eigenschaften besitzt, die den Körpern im Allgemeinen fehlen — eine besondere Anziehungskraft und Polarität. Seine Anziehungskraft äussert es nur auf kleine, in seiner Nähe befindliche Massen einiger Körper, unter denen Eisen der am häufigsten vorkommende ist; seine Polarität bringt hervor, dass ein Stück Magnetstein, welches so aufgehängt ist, dass es sich frei um seinen Schwerpunkt drehen kann, nur in einer bestimmten Lage gegen den Horizont und die Weltgegenden zur Ruhe kommen kann. Auch einige andere, nicht eisenhaltige Producte des Mineralreichs zeigen dieselben Eigenschaften; alle welche sie zeigen, werden unter der Gesammtbenennung der magnetischen Körper begriffen. Wenn ein gehärteter Stahlstab einmal oder öfter, dann aber stets in gleicher Richtung, mit einem Magnetstein gestrichen wird, so nimmt er gleichfalls Anziehung und Polarität an, oder wird magnetisirt, und bewahrt beide Eigenschaften mehr oder weniger bleibend. Von solchen Stahlstäben — Magneten oder Magnetnadeln — wird häufiger die Rede sein, als von den unmittelbar von der Natur dargebotenen magnetischen Körpern, weil sie, ihrer Form wegen, die Polarität

deutlicher vor Augen legen, als unregelmässiger gestaltete und auch aus andern Gründen zu Versuchen über den Magnetismus weniger geeignete Stücke der letzteren.

Wenn eine Magnetnadel wagerecht schwebend aufgehängt wird, etwa an einem langen, eine Drehung weder verursachenden, noch verhindernden Faden, so kann sie nur in einer Richtung zur Ruhe gelangen, in der Richtung des magnetischen Meridians. Wird diese Richtung an einem Punkte der Erde aufgesucht, so findet sie sich meistens näherungsweise, an einigen Punkten genau, von Süden nach Norden gehend; der Winkel, in welchem sie die Süd-Nordlinie durchschneidet, heisst die magnetische Abweichung oder Declination, welche als östliche oder westliche bezeichnet wird, je nachdem das Nordende der Nadel sich östlich oder westlich von dieser Linie befindet. — Wenn die Magnetnadel dagegen so aufgehängt wird, dass sie sich frei um ihren Schwerpunkt drehen kann, so verlässt sie ihre wagerechte Lage und neigt sich also gegen den Horizont. Dieses tritt hervor, wenn einer Nadel eine wagerecht liegende Axe gegeben wird, um welche sie, vor ihrer Magnetisirung, im Gleichgewichte ist, so dass sie, in welche Neigung gegen den Horizont man sie auch bringen möge, kein Bestreben zeigt, diese Neigung zu verändern; wird sie dann magnetisirt, so erhält dadurch eins ihrer Enden ein Uebergewicht über das andere; die Nadel neigt sich also und kann nicht mehr in jeder beliebigen, sondern nur in einer bestimmten

Abweichung von der wagerechten Lage, welche wenn die Axe den magnetischen Meridian senkrecht durchschneidet, die Neigung oder Inclination genannt wird, zur Ruhe gelangen.

Beide Erscheinungen zusammengenommen zeigen, dass der Nadel durch das Magnetisiren eine Kraft mitgetheilt wird, welche sie vorher nicht besass. Die Richtung dieser magnetischen Kraft wird durch die Abweichung des magnetischen Meridians und durch die Neigung bestimmt, welche sie annimmt, wenn sie sich in seiner Ebene frei drehen kann. Dass der magnetische Meridian nicht, oder wenigstens nicht allenthalben, mit der Süd-Nordlinie zusammenfällt, scheinen die europäischen Seefahrer, an den ihnen bekanntlich unentbehrlichen Magnetnadeln, gegen das Ende des 15. Jahrhunderts bemerkt zu haben *); die Ehre, die Neigung der magnetischen Kraft entdeckt zu haben, gebührt Robert Norman, einem Verfertiger mathematischer Instrumente, der 1576 aufmerksam darauf wurde und ihre Grösse für seinen Wohnort, London, bestimmte.

Sowohl die Abweichung, als auch die Neigung der Magnetnadel, sind weit entfernt, an allen Punkten der Erde die Werthe zu behalten, welche sie an einem Punkte haben. Die Ausdehnung der Seefahrten der Europäer bis in die amerikanischen und indischen

*) Die Chinesen kannten weit früher die magnetische Declination. Unter den Europäern gebührt, wie Herr von Humboldt im 3ten Theile des Examen critique de l'histoire de la Géographie etc. p. 29—41 zeigt, Columbus die Ehre ihrer Entdeckung.



Meere, legte grosse Aenderungen derselben an den Tag: nach und nach zeigte sie, dass der magnetische Meridian nur in dem von den Polen entfernteren Theile der Erdoberfläche näherungsweise von Süden nach Norden geht, in den die Erdpole umgebenden Theilen aber jede Richtung, beziehungsweise auf die Süd-Nordlinie annehmen kann, so dass es sogar Punkte auf der Erde giebt, wo dasselbe Ende der Nadel, welches bei uns näherungsweise nach Norden gerichtet ist, sich nach Süden wendet. Sie zeigte ferner, dass die Neigung der Nadel gleichfalls Aenderungen unterworfen ist, welche bis zur gänzlichen Umkehrung gehen; so dass das Nordende, welches sich in unseren Gegenden ziemlich nahe, und an einem Punkte in dessen Nähe der unerschrockene Sir John Ross sein Schiff im Eise verlassen musste, ganz dem Fusspunkte zuwendet, mit der Annäherung an den Erdaequator nach und nach seine Neigung verliert und dann höher wird als das Südende, welches dem Südpole der Erde zu, immer tiefer herabgezogen wird und endlich, an einem Punkte im südlichen Polareise, in dessen Nähe neuerlich Dumont d'Urville gewesen ist, sich dem Scheitelpunkte zuwendet.

Diese grossen Aenderungen der Richtung der magnetischen Kraft auf der Erde erregten die Aufmerksamkeit desto mehr, als man von ihrer Kenntniss grosse Vortheile für die Schifffahrt erwartete. Nicht allein wird die Kenntniss der Abweichung dem Seefahrer nöthig, um danach die Richtung zu wählen, in welcher er segeln muss, sondern durch sie kann

auch eine, bekanntlich bis in die letzte Hälfte des vorigen Jahrhunderts vergebens gesuchte Auflösung der Aufgabe, die geographische Länge des Punkts wo ein Schiff sich befindet zu bestimmen, gefunden werden. Grösstentheils war es wohl dieser Nutzen der Kenntniss der Richtung der magnetischen Kraft an allen Punkten der Erde, welcher den grossen englischen Astronomen Edmund Halley veranlasste, die Punkte, an welchen die Seefahrer die Abweichung von gleicher Grösse gefunden hatten, auf einer Karte durch krumme Linien zu verbinden, so dass diese Karte unmittelbar zeigen sollte, wie gross die Abweichung an jedem Punkte des Meers zu der Zeit war, für welche sie entworfen wurde (1700). *) Zu dieser Karte kam später noch eine andere, den Zustand der Neigungen, auf eine ähnliche Art, gleichfalls für 1700 darstellende, welche Wilcke, in den Abhandlungen der Schwed. Akad. der Wissenschaften für 1768 bekannt machte.

So wie die Zahl der Punkte sich vermehrt, an welchen die magnetische Abweichung und Neigung bekannt geworden sind, kann ähnlichen Karten grössere Ausdehnung und Richtigkeit gegeben werden. Auch kann eine Vergleichung der für verschiedene

---

*) Herr Hansteen führt, in seinen Untersuchungen über den Magnetismus der Erde, eine Stelle aus Athanasius Kirchers Buche de Magnete an, welche zeigt, dass ein Pater Chr. Burrus schon vor Halley denselben Gedanken verfolgt hat. Herr von Humboldt macht die Anrechte von Columbus und Cabot an ihn geltend.

Zeiten entworfenen, zu einer Uebersicht über die Veränderungen führen, welche die Abweichung und Neigung im Verlaufe der Zeit erfahren haben. Hansteen hat grossen Fleiss angewandt, alles zu sammeln, was von Beobachtungen der Richtung der magnetischen Kraft, bis zum Jahre 1819 bekannt geworden war, auch seinen Untersuchungen über den Magnetismus der Erde eine dasselbe darstellende Sammlung von Karten hinzugefügt.

Indessen ist die Richtung der magnetischen Kraft auf der Erde nur eine ihrer Aeusserungen; die andere ist die Stärke oder Intensität, in welcher sie sich an verschiedenen Punkten der Erde zeigt. Von dieser fehlte, bis zu dem Anfange dieses Jahrhunderts, fast alle Kenntniss, welche aber erworben werden musste ehe man auf tiefere Einsicht in die Beschaffenheit des Magnetismus der Erde hoffen durfte. Ihre ausgedehntere Erforschung wurde daher ein Moment der grossen Aufgabe, deren Auflösung Alexander von Humboldt sein Leben weihete — der Aufgabe nämlich, die Erde von jedem Standpunkte aus zu erforschen, welchen die Naturlehre darbietet; sie mit dem Beistande aller Kenntnisse und Hülfsmittel zu erforschen, welche die vorangegangene Zeit geliefert hatte und welche, wie es jetzt erscheint, ungeduldig der Veranlassung harrten, von den meisten der gewählten Standpunkte ausgehende, bis dahin unbekannte Wege zu zeigen, deren immer weitere Verfolgung die Kräfte künftiger Geschlechter, wie des jetzigen, spannen wird. Hier darf nur von einem

Theile dieser Aufgabe die Rede sein, von dem den Magnetismus der Erde angehenden.

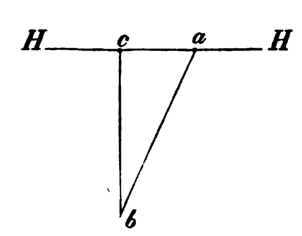
Herr von Humboldt selbst und später Andere, haben die magnetischen Intensitäten an vielen Punkten der Erde mit einander verglichen, durch ein Verfahren, welches auf der Beobachtung der Schwingungszeit einer wagerecht aufgehängten Magnetnadel beruhet, welche nach und nach an diese Punkte gebracht wurde. Ich werde versuchen, die Verbindung zwischen dieser Beobachtung und der magnetischen Intensität zu erläutern. Indem die wagerecht aufgehängte Nadel nur in der Richtung des magnetischen Meridians zur Ruhe kommen kann und in jeder anderen das Bestreben zeigt, sich der ersteren zu nähern, so äussert sich die Wirkung der magnetischen Kraft auf sie in einer, stets dem magnetischen Meridian zugewandten Drehungsgeschwindigkeit, welche diese Kraft ihr in jedem Augenblicke ertheilt, in welcher sie ihrer freien Bewegung überlassen ist. Wird die Nadel um einen beliebigen Winkel von dem magnetischen Meridiane entfernt und dann freigelassen, so fängt sie also augenblicklich an, sich auf ihn zu drehen; der nächste Augenblick vermehrt ihre im ersten erlangte Drehungsgeschwindigkeit; der folgende vermehrt sie wieder u. s. w. was so lange fortgeht, bis die Nadel den magnetischen Meridian erreicht. Die Drehungsgeschwindigkeit, welche sie dann erlangt hat, entfernt sie nach der der ersten entgegengesetzten Seite wieder von dem magnetischen Meridiane; aber die magnetische Kraft wirkt ihr nun entgegen und raubt einen

Theil davon nach dem anderen, in derselben Art, in welcher sie vorher diese Theile gegeben hat. Die Geschwindigkeit vermindert sich also nach und nach, bis zu ihrer gänzlichen Zerstörung, welche in demselben Augenblicke eintritt, in welchem die Nadel zu einem, dem anfänglichen gleichen, aber auf der entgegengesetzten Seite des magnetischen Meridians liegenden Winkel gelangt. Hier würde sie zur Ruhe kommen, wenn nicht die fortwährende Wirkung der magnetischen Kraft sie wieder dem magnetischen Meridian näherte und eine zweite, der vorigen gleiche, nur in entgegengesetzter Richtung vor sich gehende Schwingung erzeugte. Auf dieselbe Art folgt eine dritte Schwingung aus der zweiten, eine vierte aus der dritten u. s. w. — Diese Darstellung erklärt, wie die magnetische Kraft die Ursache einer fortgehenden Reihe von Schwingungen wird. Je stärker diese Ursache wirkt, oder je grösser die Kraft ist, welche die nicht im magnetischen Meridiane befindliche Nadel zu ihm drehet, desto grösser ist auch die von ihr erzeugte Drehungsgeschwindigkeit, desto kürzer also die Dauer einer Schwingung. Wenn eine Nadel an verschiedenen Orten der Erde verschiedene Schwingungszeiten zeigt, so deutet sie dadurch auf eine Verschiedenheit der vorher näher bezeichneten Kraft, deren Grösse also durch die Beobachtung der Schwingungszeiten verglichen wird. Wenn der Magnetismus der Nadel selbst, zwischen ihrer Schwingung an den verschiedenen Orten der Erde, keine Aenderung erfahren hat, so rührt die Verschiedenheit ihrer Schwin-

gungszeiten allein von einer verschiedenen Stärke der sie dem magnetischen Meridiane nähernden Kraft der Erde her. Wählt man, zur Vergleichung der Aeusserungen dieser Kraft an verschiedenen Orten, eine sorgfältig magnetisirte Nadel vom härtesten Stahl und schützt man sie vor zu grosser Nähe anderer Magnete, so bewahrt sie ihren Magnetismus fast ungeändert, wovon ihr Zurückbringen an einen Ort, wo ihre Schwingungszeit schon früher beobachtet worden ist, überzeugen kann. Die Einfachheit dieses Mittels, die Intensität des Theils der magnetischen Kraft der Erde, welcher in wagerechter Richtung wirkt, kennen zu lernen, hat seine sehr häufige Anwendung zur Folge gehabt; so dass die verhältnissmässig kurze Zeit seit seiner Geltendmachung schon hingereicht hat, uns den magnetischen Zustand der Erde auch in dieser Beziehung kennen zu lehren. Ich kann die Reisenden nicht alle nennen, welche ausser Alexander von Humboldt selbst, zu diesem Reichthume beigetragen haben. Adolph Erman, Freycinet, Hansteen und Due, Lütke, Sabine ...., haben grosse Theile davon geliefert; der erstere den grössten, der auch den Vortheil hat, auf einer die Erde ganz umschliessenden Reise gesammelt zu sein, und in der Regel für jeden Tag die vollständige magnetische Bestimmung, also Declination, Inclination und Intensität anzugeben.

Die Kraft, welche durch die Schwingungen einer wagerecht aufgehängten Nadel verglichen wird, ist nur an den Orten der Erde ihre ganze magnetische

Kraft, wo diese in derselben Ebene wirkt, in welcher die Nadel schwingt, also in der wagerechten. Ich habe aber schon angeführt, dass dieses nur an gewissen Punkten der Erde der Fall ist, und dass die magnetische Kraft im Allgemeinen gegen den Horizont geneigt ist; an zwei einzelnen Punkten sogar senkrecht auf ihm steht. Aus dem von der wagerecht aufgehängten Nadel verrathenen, wagerecht wirkenden Theile der magnetischen Kraft, kann indessen die ganze gefunden werden, sobald auch die Neigung der letzteren beobachtet worden ist. Um zu verstehen, welcher Zusammenhang zwischen beiden ist, muss man sich erinnern, dass eine Kraft immer durch zwei andere Kräfte ersetzt werden kann, welche durch die beiden kürzeren Seiten eines rechtwinklichten Dreiecks dargestellt werden, dessen längste Seite die erstere darstellt. Bringt man daher eine, die ganze Kraft darstellende Linie *a b* in die Lage gegen den Horizont *H H*, welche diese Kraft besitzt, und beschreibt man das Dreieck *a b c*, von dessen beiden kürzeren Seiten eine (*a c*) wagerecht, die andere (*c b*) lothrecht ist, so stellen diese beiden Seiten die wagerecht und lothrecht wirkenden beiden Kräfte dar, deren Zusammenwirkung die ganze Kraft *a b* ersetzt. Da man das Verhältniss von *a b* zu *a c* durch den Winkel zwischen diesen beiden Linien — die magnetische Neigung — kennt, so kennt man auch *a b*



oder die *ganze* Kraft, sobald die Schwingungen der Nadel ihren horizontal wirkenden Theil *ac* kennen gelehrt haben. Auf diese Art hat man also auch die Intensität der *ganzen* magnetischen Kraft an denselben Punkten der Erde gefunden, wo die wagerecht schwingende Nadel ihren horizontalen Theil ergeben hat. Es ist daraus hervorgegangen, dass jene keinesweges gleich gross an allen diesen Punkten ist, sondern Verschiedenheiten zeigt, welche vom Einfachen bis über das Doppelte hinausgehen. Auch diese Intensität kann man durch krumme, auf eine Karte gezogene Linien darstellen, ähnlich mit den schon erwähnten Darstellungen der Declination und Inclination; so dass *drei* Karten den magnetischen Zustand der Erde vollständig anschaulich machen.

Dieser Zustand ist aber keineswegs beständig; vielmehr zeigt er mehrere, in der Art ihres Hervortretens und vermuthlich auch in ihrer Ursache verschiedene Veränderungen. Eine derselben geht langsam vor sich, aber dafür während einer langen Zeit immer in einem gleichen Sinne, und gelangt dadurch zu so grosser Ausdehnung, dass sie die Lage und vermuthlich auch die Figur der auf den Karten dargestellten magnetischen Linien gänzlich umgestalten wird. Als Beispiel davon führe ich an, dass die magnetische Abweichung in London, im J. 1580 etwa 11° östlich war und jetzt etwa 24° westlich, auch wieder im Abnehmen begriffen ist; ebendaselbst war die Neigung im J. 1576 nahe an 72°, wuchs dann, bis etwa 1720, um einige Grade und nahm von dieser Zeit bis

jetzt bis auf etwa 69° ab. Obgleich man sowohl die Abweichung, als auch die Neigung bis zu einem grössten Werthe wachsen und von da an wieder abnehmen gesehen hat, man auch gewöhnt ist, alle grossen Veränderungen in der Natur als periodisch sich wiederholend zu betrachten, so haben doch die Beobachtungen noch keineswegs ein Zeugniss für eine Umlaufsbewegung des magnetischen Zustandes der Erde abgelegt, noch viel weniger also ihre Periode bestimmt. Ueberhaupt weiss man von dieser grossen Veränderung wenig mehr, als dass sie vorhanden ist; auch ist für jetzt noch nicht viel mehr zu erwarten, da mehrere Jahrhunderte zu ihrer deutlichen Entwickelung erforderlich, die Beobachtungen aus früherer Zeit auch nicht vollständig genug sind, um, wenigstens ohne den Besitz einer leitenden Theorie, zu gegründeten Folgerungen zu berechtigen.

Eine zweite Art von Veränderungen des magnetischen Zustandes der Erde zeigt sich in einer täglich wiederkehrenden Schwankung desselben, ist aber bis jetzt nur in sofern anhaltend verfolgt worden, als sie sich in der Abweichung äussert. In unseren Gegenden der Erde zeigt die Nadel am Morgen jedes Tages am östlichsten, bald nach Mittag am westlichsten. An mehreren Orten sind anhaltende Beobachtungen hierüber gemacht, welche ergeben haben, dass die Grösse der täglichen Variation der Abweichung sich mit den Jahreszeiten ändert. In Göttingen war sie, von 8 Uhr Morgens bis 1 Uhr Nachmittags, einer von Gauss angefangenen und später von Herrn

Dr. Goldschmidt übernommenen, jetzt sechs Jahre umfassenden Beobachtungsreihe zufolge, im April am grössten und im December am kleinsten (etwa 15 Minuten und 5 Minuten). In der tropischen Gegend der Erde ist die tägliche Veränderung kleiner; in der südlichen Halbkugel scheint, im Allgemeinen, Morgens die westlichste, Nachmittags die östlichste Richtung der magnetischen Kraft einzutreten. In der Nacht kommen, im Allgemeinen, weit kleinere Veränderungen dieser Art vor, als am Tage. Eine den Jahreszeiten folgende Veränderung der mittleren täglichen Richtung der Nadel, haben die Beobachtungen bis jetzt nicht mit Bestimmtheit verrathen.

Eine dritte Art von Veränderungen des magnetischen Zustandes der Erde zeigt sich ohne Verbindung mit der Tages- und Jahreszeit; sie tritt ganz unerwartet ein und vermehrt und vermindert sich eben so unerwartet. Sie bringt hervor, dass z. B. eine wagerecht aufgehängte Nadel fortwährend ihre Richtung verändert, oft zwar weniger merklich, zuweilen aber auch in wenigen Minuten einen halben Grad oder mehr. Diese schnellen Veränderungen haben Aufmerksamkeit erregen müssen, seitdem Coulomb eine Nadel, nicht nur — durch ihre Aufhängung an einem ungedreheten Seidenfaden — so beweglich machte, dass sie den kleinsten Aenderungen der Richtung der magnetischen Kraft folgen konnte, sondern auch, durch angebrachte Mikroskope, für die Erkennung und Messung derselben sorgte; welche Einrichtung später durch den berühmten Mechaniker Gambey in der

grössten Vollendung ausgeführt worden ist und dadurch sehr allgemeine Verbreitung erlangt hat. — Die Bewegungen der Nadel, von welchen hier die Rede ist, erscheinen etwa so, als würden sie durch die Anziehung kleiner, in der Nähe befindlicher und ohne Regel und Absicht bewegter Eisenmassen erzeugt. Allein dieses Ansehen hat schärfer blickende Naturforscher nicht getäuscht; es hat ihnen nicht verborgen, dass die unerwartet und plötzlich eintretenden Veränderungen nicht örtliche Störungen der Richtung der Nadel sind, sondern Einflüsse auf dieselbe, welche sich an weitentfernten Punkten der Erde gleichzeitig zeigen. Herr von Humboldt wurde durch seine in Berlin vorgenommene Verfolgung des Ganges der Nadel von halber zu halber Stunde, und durch die plötzlichen, sich darin zeigenden Störungen, schon 1806 und 1807 veranlasst, von östlich und westlich von seinem Beobachtungsorte anzustellenden, gleichzeitigen Beobachtungen Aufklärungen über die Natur dieser Störungen zu erwarten; allein sein darauf folgender langer Aufenthalt in Paris und die politischen Ereignisse der Zeit verhinderten die Anordnung solcher Beobachtungen, bis sie durch einen ausgezeichneten Erfolg Arago's in's Leben gerufen wurden. Dieser grosse Physiker hatte Massregeln zur ausgedehnteren Verfolgung der magnetischen Erscheinungen in Paris in Wirksamkeit gesetzt; wovon eine der Früchte war, dass er der — älteren — Bemerkung des Einflusses der Nordlichter auf die Magnetnadel neues Gewicht verleihen und auch zeigen konnte, dass dasselbe nicht auf Gegenden

der Erde, wo sie sichtbar sind, beschränkt ist. Herr Kupffer hatte die Magnetnadel während eines Nordlichts in Casan beobachtet, und die Vergleichung ihrer Bewegungen mit den in Paris wahrgenommenen zeigte zum erstenmale ihre Gleichzeitigkeit an beiden Orten. In den Jahren 1828—1830 finden wir eine von Humboldt veranlasste Beobachtungsreihe im Gange, welche an vorher verabredeten Tagen, den Gang der wagerechten Magnetnadel in Berlin, Freiberg (in einem Stollen 35 Lachter unter Tage), Petersburg, Casan, Nicolaef und Marmato (in Columbia) verfolgt, ihre Richtung von Stunde zu Stunde angiebt und Beispiele von der Gleichzeitigkeit, nicht allein der grösseren, durch sichtbare Nordlichter hervorgebrachten, sondern auch kleinerer Störungen ohne sichtbare Veranlassung liefert. Aber von 1836 an verdanken wir den Bemühungen von Gauss eine noch genauere Kenntniss dieser merkwürdigen unregelmässigen Bewegungen. Von seinen Bemühungen um die Erforschung des Magnetismus der Erde werde ich noch Vieles zu berichten haben; hier erwähne ich nur, dass er einer Beobachtungsreihe, welche die Verfolgung der Magnetnadel bis in die kleinsten Einzelnheiten ihrer Bewegungen zum Zwecke hatte, viele Theilnehmer erwarb, von deren Standpunkten einige Göttingen näher sind, andere sich in entferntere Theile Europas zerstreuen. Alle diese Theilnehmer benutzen Magnetnadeln von grösserer Schwere als bisher üblich gewesen ist; sie sind an langen Fäden ungedreheter Seide, von der Decke des Zimmers herab, aufgehängt;

ihre Richtung wird nicht durch Mikroskope, sondern aus grösserer Entfernung durch ein Fernrohr beobachtet, welches das von einem an der Nadel befestigten Spiegel reflectirte Bild der Eintheilung eines, an seinem Fusse befindlichen Massstabes zeigt. Die Beobachtung ihrer Richtung ist nicht weniger genau als die der Gambey'schen Magnetnadel und gewährt den Vortheil, aus grösserer Entfernung gemacht zu werden, wodurch plötzliche Bewegungen, welche die Nähe des Beobachters veranlassen kann und ein Luftzug, welcher durch seine Körperwärme erzeugt wird, die Kraft verlieren, nachtheilige Einflüsse auf die Richtung der Nadel zu äussern. Später hat Gauss der Erfindung dieses, durch zweckmässige Anwendung zur Bestimmung der Declination der Magnetnadel und ihrer Veränderungen führenden Apparats, noch die, auf einem neuen und fruchtbaren Principe beruhende, einer zweiten hinzugefügt, wodurch es möglich wird, auch die Veränderungen der horizontalen Intensität mit gleicher Schärfe und Leichtigkeit zu erkennen. — Die Einrichtung der Beobachtungsreihe ist so getroffen, dass alle Beobachter, wo auf der Erde sie sich auch befinden mögen, die Angaben ihrer Apparate in genau gleichen Momenten, an vorher verabredeten Tagen, von 5 zu 5 Minuten aufzeichnen. — Eine solche Beobachtungsreihe, welche nun schon länger als 4 Jahre fortgesetzt worden ist, musste das Verhalten der Störungen der magnetischen Kraft der Erde, insofern sie sich in der Declination und horizontalen Intensität äussern, bis in seine kleinsten Einzelnheiten kennen

lehren. Sie hat unzählige Bestätigungen der Gleichzeitigkeit kleinerer und grösserer, mehr oder weniger plötzlich eintretender und verschwindender Einwirkungen auf die Magnetnadeln geliefert; sie hat gezeigt, dass diese Aenderungen an nördlicheren Oertern in Europa, im Allgemeinen, grösser sind als an südlicheren und dadurch angedeutet, dass ihre Ursachen meistens gegen Norden von uns zu suchen sind; sie hat jedoch auch Ausnahmen von dieser Regel kennen gelehrt, welche wahrscheinlich machen, dass sie, wenn auch vorzugsweise, doch nicht ausschliesslich, von den Polargegenden der Erde ausgehen.

Die verschiedenartigen Aeusserungen des Magnetismus der Erde, von welchen ich eine Andeutung versucht habe, haben, durch ihre Verfolgung durch Beobachtungen, den Besitz geliefert, welcher mehr oder weniger vollständig zusammengebracht werden muss, ehe eine mehr oder weniger vollständige Erklärung dieser merkwürdigen Eigenschaft der Erde versucht werden kann. Wenn ich von Erklärung rede, so muss man darunter keineswegs die Antwort auf die Frage verstehen, warum die Erde Magnetismus besitzt, da sie doch auch ohne ihn bestehen könnte; ebensowenig muss man dabei an eine Speculation über die erste Ursache der magnetischen Kraft selbst denken, welche stets ebenso verborgen bleiben wird, als die ersten Ursachen aller Kräfte. Die Erklärung ist vielmehr nichts anderes, als die Verfolgung des Zusammenhanges zwischen den einfachsten Aeusserungen derselben Kraft, welche wir an den

Tag zu legen vermögen, und den verwickelten welche der Erdkörper uns zeigt. Sie ist also die Angabe einer einfacheren Regel, aus welcher die zusammengesetztere Erscheinung folgt; sie wird desto befriedigender, je einfacher die Erscheinung, von welcher sie ausgeht und je verwickelter die ist, wohin sie gelangt. Wir wollen uns wenigstens einen Theil der letzteren zu veranschaulichen suchen, damit wir das Ziel der Erklärung etwa in derselben Art vor Augen haben mögen, in welcher der Naturforscher, der den Chimboraço zuerst bestieg, seinen Gipfel vorher durch sein Fernrohr kennen lernte. Wir werden uns leicht überzeugen, dass der Weg zu diesem Ziele über abschreckende Schwierigkeiten führt; über so grosse, dass nicht zu verwundern ist, wie mehrere Versuche sie zu überschreiten fruchtlos blieben ehe ein Versuch gelang.

Ich glaube, dass ein Blick auf eine Karte, welche die magnetischen Declinationen auf der Erde darstellt, hinreichend ist, die Grösse der Schwierigkeiten der Erklärung fühlbar zu machen. Ich werde die Linie verfolgen, welche die Punkte der Erde verbindet, wo die Declination verschwindet, oder die horizontale magnetische Kraft genau von Süden nach Norden gerichtet ist. Der neuesten, auf Beobachtungen allein gegründeten Karte zufolge, welche Adolph Erman gegeben und die königl. Londoner Societät der Wissenschaften bekannt gemacht hat, kommt diese Linie aus dem unzugänglichen Eise des Nordpols herab, geht durch das weisse Meer, durch Russland, das kaspische

Meer, zieht um die Halbinsel Indiens diesseits des Ganges herum, wendet sich dann wieder nach Norden, durchschneidet die Halbinsel jenseits des Ganges, zieht bis in die Nähe der Nordsibirischen Küste, von wo sie, zwischen Kamtschatka und Japan hindurch, wieder zur Halbinsel jenseits des Ganges zurückführt, dann das indische Meer und Neuholland durchschneidet und endlich, im südlichen Polareise, nicht weiter verfolgt werden kann. Aber sie tritt in dem amerikanischen Meere wieder aus diesem Eise hervor, führt durch Brasilien, das Antillenmeer, die Vereinigten Staaten von Nordamerika, die Hudsonsbay in das Polareis zurück, von welchem ausgehend ich ihren Zug zu beschreiben angefangen habe. Nicht ähnliche, aber nicht minder auffallende und unregelmässige Züge, nehmen auch die übrigen Declinationslinien, nämlich die Linien, welche die Punkte der Erde verbinden, wo die Declination bestimmte Werthe hat, z. B. 10°, 20°, 30° u. s. w. östlich oder westlich. — Die Erklärung soll also diese Verschlingung der Declinationslinien entwirren; sie soll sie als Folgen der Eigenthümlichkeiten geltend machen, welche die magnetische Kraft in ihrem einfachsten Auftreten characterisiren. Aber dieselbe Erklärung soll noch viel mehr leisten; sie soll auch die Züge der Inclinationslinien und der Intensitätslinien folgern; sie soll endlich von den Veränderungen Rechenschaft geben, welche alle diese Linien erfahren, sowohl von den sich im Laufe der Zeit anhäufenden, als von den in täglicher Periode wiederkehrenden.

Indessen treten die von den Naturerscheinungen ausgehenden Wissenschaften Anfangs bescheiden auf; mit gesteigerten Forderungen erst, nachdem sie die Befriedigung geringerer erlangt haben. Nicht am Anfange hat die Wissenschaft des Erdmagnetismus die eben bezeichnete Art der Erklärung als Forderung ausgesprochen. Sie konnte sie erst geltend machen, nachdem die Beobachtung den magnetischen Zustand der Erde so kennen gelehrt hatte, dass daraus die Mittel zu ihrer, wenigstens theilweisen Befriedigung hergenommen werden konnten. Bis dahin musste die Vervollständigung der Beobachtung die Aufgabe sein, sie wird auch noch lange Aufgabe bleiben, selbst nachdem Gauss die Forderung ausgesprochen und, so weit es bis jetzt möglich ist, erfüllt hat. Denn sie ist noch weit entfernt, Alles geliefert zu haben, was der vollständigen Befriedigung der Forderung vorangehen muss. Sie bedurfte sogar noch des Zusatzes einer neuen Methode, ehe sie sich im Stande erklären konnte, Rechenschaft abzulegen von allen Veränderungen, welche die magnetische Kraft der Erde im Laufe der Zeit erfahren kann.

Aus der oben versuchten Erläuterung des Mittels, wodurch die magnetische Intensität an vielen Punkten der Erde verglichen worden ist, geht nämlich hervor, dass diese Vergleichungen auf der Voraussetzung beruhen, dass der Magnetismus der Nadel selbst, während ihrer Zwischenzeit, keine Veränderung erfahren habe. Diese Voraussetzung kann als erlaubt betrachtet werden, wenn die Zwischenzeit eine kurze ist und

die Nadel mit gehöriger Vorsicht verfertigt und behandelt wird; aber sie verliert ihre Sicherheit, wenn von Vergleichungen die Rede ist, zwischen welchen eine unbestimmt lange Zeit verfliesst; sogar scheinen Versuche Wilhelm Webers zu zeigen, dass jede Abwechslung der Wärme der Nadel eine kleine bleibende Verminderung ihrer magnetischen Kraft hervorbringt. Wenn also die Veränderungen, nicht allein der Richtung der magnetischen Kraft — deren Erfindung durch Beobachtungen kein Hinderniss hat — sondern auch ihrer Intensität, unbedingt sollen erkannt werden können, so ist eine Methode nöthig, welche die letztere, von der Voraussetzung der Unveränderlichkeit einer Nadel unabhängig, kennen lehrt. Die Erfindung einer dieses leistenden Methode, verdanken wir dem Scharfsinne Poissons — des Geometers, dessen grosse Kräfte vorzugsweise der Bereicherung der Naturwissenschaften gewidmet wurden, dessen unvergängliche Leistungen ein viel zu früher Tod in ihrer vollen Kraft unterbrach. Ihre des Meisters der Geometrie und deren Anwendungen würdige Ausführung verdanken wir Gauss, der damit sein Eingreifen in die Lehre vom Magnetismus der Erde eröffnete.

Es würde mich zu weit führen, wenn ich mich hier auf eine Darstellung dieser Methode einlassen wollte; aber ich werde versuchen, den Weg, den sie nimmt, einigermassen anzudeuten. Ich habe schon angeführt, dass eine wagerecht aufgehängte Magnetnadel eine Drehungskraft zeigt und dass die Grösse derselben durch Beobachtung ihrer Schwingungszeit

gemessen werden kann. Diese Drehungskraft wird in demselben Verhältnisse grösser oder kleiner, in welchem entweder die eigene magnetische Kraft der Nadel, oder die magnetische Kraft der Erde grösser oder kleiner wird; das was ihre Bestimmung durch Beobachtung angiebt ist also das Product beider Kräfte. Wenn man ausser diesem Producte zweier Factoren, auch ihr Verhältniss zu einander, durch Beobachtung an den Tag legen könnte, so würde man sie trennen, oder jeden einzeln bestimmen können. Auf die Erfindung dieses Verhältnisses geht daher die Methode aus. Sie wendet eine zweite Magnetnadel an, deren Drehungskraft durch Beobachtungen bestimmt wird; sowohl die Drehungskraft, welche sie zeigt, wenn sie der magnetischen Wirkung der Erde ausgesetzt wird; als auch die, welche die in ihre Nähe gebrachte erste Nadel in ihr erregt. Die erste dieser Drehungskräfte ist das Product der magnetischen Kräfte der Erde und der zweiten Nadel; die andere das Product der magnetischen Kräfte beider Nadeln; ihr Verhältniss ist offenbar das Verhältniss der magnetischen Kräfte der Erde und der ersten Nadel, dasselbe Verhältniss also, welches man kennen musste, um durch seine Verbindung mit dem Anfangs bestimmten Producte der magnetischen Kräfte der Erde und der ersten Nadel, diese beiden Kräfte einzeln kennen zu lernen.

Ich glaube von den Experimenten, wodurch man zur vollständigen Kenntniss der magnetischen Kraft, an jedem zugänglichen Punkte der Erde und zu irgend

einer Zeit, gelangen kann, jetzt so viel gesagt zu haben, als erforderlich ist, die Möglichkeit der Erwerbung dieser Kenntniss anschaulich zu machen. Der Versuch, von ihr zur Erklärung des Magnetismuss der Erde zu gelangen, kann jedoch erst gelingen, wenn eine deutliche Vorstellung von der Art, wie die magnetische Kraft selbst sich in ihrem einfachsten Auftreten zeigt, ihm vorangegangen sein wird. — Nicht magnetisches Eisen wird von einer Magnetnadel angezogen; eine andere Magnetnadel aber wird von ihr entweder angezogen oder abgestossen, je nachdem das Nordende der einen und das Südende der anderen, oder die gleichnamigen Enden beider, einander genähert werden. — Wird eine Magnetnadel in mehrere Stücke zerbrochen, so zeigt jedes Stück dieselben Eigenschaften, welche die ganze Nadel zeigte; woraus man geschlossen hat, dass der Magnetismus eine Kraft ist, welche nicht etwa in den beiden Enden einer Nadel ihren Sitz hat, sondern welche jedes ihrer Theilchen besitzt.

Indem dieselbe Nadel, welche vor ihrer Magnetisirung keine Spur von magnetischer Kraft zeigte, sie nachher zeigt, geht hervor, dass der Act des Magnetisirens eine Veränderung ihrer Theilchen hervorbringt. Ihre körperliche Masse wird dadurch nicht verändert, denn das Gewicht der Nadel ist vor und nach ihrer Magnetisirung dasselbe. Man sieht die, nichts destoweniger in den einzelnen Theilen vorgegangene Aenderung daher als eine Trennung zweier, in jedem Theilchen in gleicher Quantität enthaltenen Stoffe an,

welche vor der Magnetisirung vereinigt waren und deren einer die Nordpolarität, der andere die Südpolarität äussert. Um sich diese Vorstellung zu versinnlichen, mag man die einzelnen Theilchen als kugelförmig annehmen. So lange beide Stoffe in einer solchen Kugel gleichmässig vertheilt sind, neutralisirt der eine den anderen und die Kugel zeigt weder die eine noch die andere Polarität; aber wenn sie getrennt werden, der eine sich also um das eine Ende eines Durchmessers der Kugel, der andere um sein anderes Ende zusammengehäuft findet, so wird dieser Durchmesser die magnetische Axe des Theilchens: er zeigt Polarität, oder er wendet sich, wenn die Kugel sich frei drehen kann, in die Richtung einer ausser ihr wirkenden magnetischen Kraft; er zeigt sie desto stärker, je weiter die Trennung der beiden Stoffe, oder je stärker ihre Zusammendrängung um seine beiden Enden ist. Dieser Vorstellung zufolge sind magnetisirbare Körper solche, in welchen, durch die Berührung mit einem Magnete, oder durch seine Nähe, eine Trennung der beiden Stoffe hervorgebracht werden kann. In einigen ist diese Trennung bleibend, in andern verschwindet sie mit dem Aufhören des Magnetisirens. Gehärteter Stahl gehört zu den ersteren, ganz weiches Eisen zu den letzteren.

Diese Vorstellung von der magnetischen Kraft vereinigt die Erfahrung, dass jeder kleinste Theil einer Magnetnadel die beiden Polariten besitzt, mit der Erfahrung, dass diese Polaritäten in den magnetisirbaren Körpern hervorgerufen werden können.

Ob sie physisch richtig ist, kann nicht entschieden werden; aber man würde sie verlassen und eine andere suchen müssen, wenn ihre Verfolgung bis zu irgend einer Aeusserung des Magnetismus, zu einem Widerspruche mit der Beobachtung führte. So lange dieses nicht ist, kann man sie, eben sowohl wie jede andere den Erfahrungen gleichfalls entsprechende, als ein Mittel betrachten, durch welches der Uebergang von der einfachsten Erscheinung der magnetischen Kraft zu zusammengesetzteren, erleichtert wird. Dieser Uebergang fordert aber, ausser der Vorstellung, noch die Kenntniss des Gesetzes, nach welchem die Stärke der Anziehung der beiden ungleichnamigen, und der Abstossung der gleichnamigen Stoffe, sich mit der Entfernung ändert. Dass diese Anziehung und Abstossung nicht etwa allein in der unmittelbaren Berührung stattfinden, sondern sich schon in einiger Entfernung äussern, zeigt eine an einem Faden aufgehängte Magnetnadel, deren Nord- oder Südende von dem Nord- oder Südende einer andern Nadel schon lange vor der Berührung abgestossen, oder von dem Süd- oder Nordende angezogen wird. Das Gesetz, nach welchem die Stärke der Abstossung zweier Theilchen der gleichnamigen Stoffe, und der Anziehung zweier Theilchen der ungleichnamigen sich richtet, ist das umgekehrte Verhältniss der Quadrate der Entfernungen; d. h. wenn zwei abstossend oder anziehend auf einander wirkende Theilchen des einen oder des anderen Stoffs, erst in eine gewisse Entfernung von einander, dann in die doppelte, dreifache, vierfache

u. s. w. gebracht werden, so sind ihre Wirkungen auf einander in den Verhältnissen 1, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$ u. s. w. Dieses ist dasselbe Gesetz, welches Newton von der Anziehung der Weltkörper nachgewiesen hat. Für die magnetischen Kräfte ist es aber nicht bloss dieser Analogie gemäss vorausgesetzt worden, sondern Coulomb und Hansteen haben es durch geeignete Beobachtungen an den Tag gelegt und Gauss hat diese so anzuordnen gewusst, dass ihre Beweiskraft dadurch vollständig geworden ist.

Nachdem nun die Art der Wirkung der beiden magnetischen Kräfte deutlich geworden ist, kann darauf die Untersuchung des Verhaltens eines magnetischen Körpers gegründet werden; d. h. der Stärke und Richtung der Polarität, welche er an beliebigen Punkten des ihn umgebenden Raumes hervorruft. Legt man durch den Mittelpunkt eines beliebigen der Theilchen des Körpers eine Ebene, so dass die magnetische Axe des Theilchens sie senkrecht durchschneidet, so äussert sich auf der Seite derselben, auf welcher der Nordpol des Theilchens sich befindet, Nordpolarität, auf der andern Südpolarität. Allen Punkten auf der ersten Seite ist nämlich der Nordpol des Theilchens näher als sein Südpol, wesshalb jener die Nordpolarität stärker äussert, als dieser die ihr entgegengesetzte Südpolarität, so dass, nachdem diese einen ihr gleichen Theil der ersteren vernichtet hat, noch ein Theil davon übrig bleibt; entgegengesetzt verhält es sich offenbar auf der anderen Seite der Ebene, wo also die Südpolarität vorherrscht. Die

Richtung der vorherrschenden Polarität ist offenbar die auf das magnetische Theilchen zugehende; ihre Stärke vermindert sich mit den Entfernungen der Punkte wo sie wirkt von dem magnetischen Theilchen und von der erwähnten Ebene; wenn die erstere Entfernung eine gegebene ist, so ist diese Stärke in der Richtung der magnetischen Axe des Theilchens am grössten. Jedes Theilchen des Körpers wirkt aber auf ähnliche Art, und die magnetische Wirkung des ganzen Körpers ist nichts anderes als die aus den Wirkungen aller seiner einzelnen Theilchen zusammengesetzte. Man begreift hieraus leicht, dass die magnetische Wirkung eines Körpers an irgend einem Punkte des Raums, durch Summation der Wirkungen seiner Theilchen gefunden werden kann, wenn die Stärke der Magnetisirung jedes derselben und die Figur des Körpers gegeben sind. Ich werde dieses an dem einfachsten Falle anschaulich zu machen suchen, an dem Falle einer sehr dünnen, ihrer ganzen Länge nach gleich stark magnetisirten Nadel, einer Nadel also, welche, in unzählige gleich lange Stücke zertheilt, eben so viele, einander gleiche Magnetnadeln ergeben würde. In der Verlängerung der Nadel, über ihr Nordende hinaus, äussert sie offenbar Nordpolarität, denn jedes ihrer Theilchen äussert diese — weil sein Nordpol näher ist als sein Südpol — stärker als die entgegengesetzte, so dass ein Theil davon übrig bleibt. Die Wirkung der ganzen Nadel ist die Summe aller dieser übrigbleibenden Theile der Nordpolarität; sie ist desto grösser, je näher der Punkt wo sie geäussert

wird am Nordende der Nadel ist, denn jedes Theilchen der Nadel lässt einen grösseren Rest der Nordpolarität übrig wenn es näher ist. In der Verlängerung der Nadel über ihr Südende hinaus, verhält es sich offenbar ganz ähnlich, mit dem einzigen Unterschiede, dass die hier vorherrschende Polarität die entgegengesetzte ist. — Die an einem zwischen beiden Enden der Nadel liegenden Punkte sich äussernde magnetische Wirkung kann leicht auf das eben Gesagte zurückgeführt werden. Ich glaube deutlicher sprechen zu können, wenn ich die Länge der Nadel einen Fuss nenne und ihre Wirkung an Punkten aufsuche, welche 1, 2, 3, 4, 5 Zolle von dem einen oder anderen ihrer Enden entfernt sind. Setzt man den Punkt, wo man sie kennen lernen will, einen Zoll vom Nordende entfernt, so äussert dieser Zoll Südpolarität, weil die Südpole seiner einzelnen Theilchen nun die nächsten sind; der nun folgende Zoll der Nadel äussert aber gleich starke Nordpolarität; beide Polaritäten vernichten sich vollständig und die Wirkung der ganzen Nadel ist keine andere, als die ihrer übrigen 10 Zolle. Die gesuchte Wirkung an dem, einen Zoll vom Nordende der Nadel, ihrer Mitte zu, entfernten Punkte ist also genau dieselbe, welche eine 10-zöllige Nadel an einem einen Zoll über ihr Nordende hinaus entfernten Punkte äussern würde. Wenn der Punkt, statt eines Zolls, resp. 2, 3, 4, 5 Zolle von dem Nordende der Nadel, ihrer Mitte zu, entfernt ist, so werden die Wirkungen, welche er erfährt, durch dieselbe Betrachtung, denen gleich gefunden, welche ähnliche Nadeln von resp.

8, 6, 4, 2 Zollen, in Entfernungen von resp. 2, 3, 4, 5 Zollen über ihre Nordenden hinaus, äussern würden. Diese Wirkungen nehmen also mit der Entfernung der Punkte wo sie stattfinden, von der Mitte der Nadel ab, und zwar aus dem zwiefachen Grunde der Verkürzung der sie äussernden Theile der Nadel und ihrer weiteren Entfernung; so wie ein Punkt in der Nordhälfte der Nadel, ihrem Mittelpunkte näher angenommen wird, erfährt er also immer schwächer werdende Nordpolarität; in der Mitte der Nadel verschwindet sie gänzlich; über die Mitte hinaus, dem Südende der Nadel zu, herrscht Südpolarität genau so vor, wie zwischen der Mitte und dem Nordende Nordpolarität. —

Was ich hier zur Erläuterung des einfachsten Falles gesagt habe, wird zwar kaum hinreichen, den Weg anzudeuten, welchen die ähnliche Untersuchung in weniger einfachen Fällen nimmt; aber es reicht hin, anschaulich zu machen, dass die Aeusserungen des Magnetismus eines Körpers, an verschiedenen Punkten des ihn umgebenden Raums sehr verschieden sind; dass bald die eine, bald die andere der beiden Polaritäten die überwiegende ist; dass die Stärke und Richtung ihrer Aeusserung sich gleichfalls, von dem einen Punkte zum anderen, bis zur gänzlichen Verschiedenheit ändern. Diese Aeusserung des Magnetismus eines Körpers an einem Punkte besteht also in einem Ueberschusse der Wirkungen des einen magnetischen Stoffs über die des anderen, in einem *freien* Hervortreten des ersteren, wesshalb sie auch der

freie Magnetismus des Körpers genannt wird. Dieser freie Magnetismus ist das, wodurch der magnetische Zustand eines Körpers sich allein verrathen kann, also auch das, was man davon, durch Beobachtungen, allein erkennen kann.

Ich wiederhole, dass die magnetische Wirkung, oder der freie Magnetismus eines Körpers, an einem beliebigen Punkte, durch Summation der Wirkungen seiner unzähligen Theilchen gefunden werden kann. Ein eigener Zweig der mathematischen Analyse — die Integralrechnung — gewährt immer die Mittel, die Summe der unzähligen Theile im Ganzen wirklich kennen zu lernen; aber von seiner Benutzung kann nur die Rede sein, wenn die zu summirenden Theile selbst bekannt sind. Auf die magnetische Wirkung eines Körpers angewandt heisst dieses, dass ein Kunstgriff des Calculs sie kennen lehren kann, wenn bekannt ist, welche ähnliche Wirkung jedes seiner Theilchen äussert, und welche Figur alle diese Theilchen umschliesst. Die letztere kann man durch Abmessungen des Körpers kennen lernen, aber die erstere verräth sich nirgends unmittelbar. Wie wenig die Figur eines Körpers allein seinen magnetischen Zustand andeuten kann, kann an einem magnetisirten Stahlstabe, dessen Durchschnittsfigur und Länge gegeben sind, anschaulich werden. Man kann seinen freien Magnetismus leicht berechnen, wenn man die Magnetisirung seiner Theilchen durchweg als gleich voraussetzt, und auch wenn man von anderen, einfachen Annahmen darüber ausgeht; jede solche Annahme wird ein regelmässiges

Fortschreiten der Stärke des freien Magnetismus, zwischen den beiden Enden des Stabes ergeben; in der Wirklichkeit wird er sich aber nie einer dieser Annahmen gemäss verhalten, sondern stets werden sich Unregelmässigkeiten zeigen, welche nur aus Unregelmässigkeiten der Magnetisirung des Inneren entstehen und so weit gehen können, dass man, an längeren Stäben, sogar mehrere Abwechselungen der beiden Polaritäten bemerkt hat.

Diese Bemerkung führt uns zu den Erscheinungen zurück, welche der grosse magnetische Körper, den wir bewohnen, uns darbietet. Der oben schon erwähnte unregelmässige Zug der Linien, wodurch man die Richtung und Stärke des freien Magnetismus der Erde darstellen kann, zeigt, dass die Vertheilung des Magnetismus in ihrem Innern keinesweges einem einfachen Gesetze folgt. Ein solches zu erwarten berechtigt uns die Beschaffenheit dessen was wir von der Erde kennen, nämlich ihrer Oberfläche, in der That nicht, denn sie bietet uns Abwechselungen der Gebirgsarten dar, deren einige magnetisch sind, während andere es nicht, oder in einem so schwachen Grade sind, dass wir nichts davon bemerken können. Die gleichfalls erwähnten langsameren und schnelleren Veränderungen des freien Magnetismus der Erde, welche die Beobachtungen zeigen, beweisen auch, dass ihre magnetische Beschaffenheit sich fortwährend ändert. — Es ist nicht denkbar, dass wir das je kennen lernen werden, was wir kennen müssten, um von ihm, auf dem geraden Wege der Rechnung zu

der Kenntniss des freien Magnetismus, der sich an jedem Punkte der Erdoberfläche zeigt, zu gelangen. Die Theorie erhält daher die Aufgabe, diejenigen Folgerungen von den beobachteten Erscheinungen auf ihre Ursache nachzuweisen, welche allein durch das Gesetz der Wirkung der magnetischen Kraft gerechtfertigt werden, also für jede beliebige Vertheilung des Magnetismus der Erde gleich wahr sind.

Die Theorie hat immer wenn sie die Verbindung zwischen Naturerscheinungen und ihrer Ursache verfolgt hat, eine Aufgabe ähnlicher Art aufzulösen gehabt. Aber diese konnte nie früher in ihrer wahren Gestalt hervortreten, als bis die Beobachtung von einer vorher nicht beachteten Erscheinung so viel verrathen hatte, dass es zur Hinweisung auf ihre Ursache hinreichte. So lange dieses noch nicht der Fall ist, ist nicht sowohl eine Aufgabe aufzulösen, als ein Räthsel zu errathen; ein Räthsel, welches durch die Auffindung einer — selbst nicht weiter zu rechtfertigenden — einfachen Annahme errathen wird, welche verschiedene der beobachteten Momente in einem Zusammenhange erscheinen lässt; ein Räthsel, welches offenbar nur dann errathen werden kann, wenn eine solche Annahme vorhanden ist. Obgleich selbst der glücklichste Erfolg des Rathens, indem er nur eine Annahme, nicht die Ursache der Erscheinung selbst sein kann, keine Erklärung derselben ist, so ist seine Aufsuchung doch weder ohne Reiz, noch, wenn sie gelingt, ohne Nutzen. Denn in diesem Falle vertritt sie die Beobachtungen selbst; indem sie das was diese von der

Erscheinung lehren, also das wovon die Erklärung Rechenschaft geben soll, in seinen kürzesten Ausdruck zusammenfasst. Ich darf nur die Hauptmomente der Entwickelung der Kenntniss des Weltgebäudes anführen, um ein Beispiel des Fortschreitens in dieser Art zu geben. Copernicus suchte eine einfache Annahme, wodurch ein Zusammenhang in die verwirrten Erscheinungen der Planetenbewegung gebracht werden konnte und fand sie in der Unbeweglichkeit der Sonne und excentrisch um sie beschriebenen Kreisbahnen der Planeten. Kepler erkannte, dass diese Annahme den Beobachtungen nur im Ganzen genüge, dass aber diese zu seiner Zeit schon hinreichten, zu zeigen, dass die Bewegungen nicht in Kreisen, sondern, nach gleichem Gesetze für alle, in Ellipsen vor sich gehen; er wies nach, dass diese Annahme Allem, was die Beobachtungen der Planeten von ihrer Bewegung verrathen hatten, vollständig genügte und vertrat also, durch seine Gesetze, die Beobachtungen selbst. Newton endlich erhob sich zu der Erklärung des Weltsystems, indem er die Kraft fand, von deren Wirkung die Kepler'schen Gesetze die nothwendige Folge sind, und welche den Erscheinungen entsprechen musste, indem diese Gesetze ihnen entsprachen. — Auf ähnliche Art, aber nicht mit ähnlichem Erfolge, sind auch die Versuche, von dem magnetischen Zustande der Erde Rechenschaft zu geben, fortgeschritten. Euler und Tobias Mayer haben die Annahme verfolgt, dass die an verschiedenen Punkten der Erde beobachteten Richtungen der magnetischen Kraft —

von ihrer Stärke wàr vor Humboldt nicht die Rede — sich als Wirkungen eines in der Erde befindlichen Magneten darstellen liessen. Allein diese Versuche hätten nicht gemacht werden können, wenn die verwickelten Züge der magnetischen Linien, zu ihrer Zeit schon so bekannt gewesen wären, wie ich sie oben an einem Beispiele erläutert habe: ihr Erfolg blieb weit hinter dem Erfolge zurück, welchen Copernicus, durch eine ähnliche einfache Annahme, im Falle der Planetenbewegung, erreicht hatte. Als Hansteen sich später das Verdienst erworben hatte, alle bekannt gewordenen Beobachtungen mit grossem Fleisse zu sammeln und als er dadurch das Hervortreten der magnetischen Kraft auf der Erde weit vollständiger kennen gelernt hatte, überzeugte er sich von der Unzulänglichkeit der früheren Annahme und veränderte sie daher in die Annahme zweier in der Erde befindlichen Magnete. Wirklich kann man die Lagen und die relative Stärke zweier Magnete so wählen, dass den Erscheinungen dadurch besser Genüge geleistet wird, als durch die Annahme eines Magneten. Aber der Erfolg mit ihrer Annahme blieb noch weit hinter dem Erfolge zurück, welchen Kepler, durch seine Verbesserung der Copernicanischen, herbeigeführt hatte: es wurde dadurch keinesweges ein einfacher Ausdruck erlangt, welcher die Beobachtungen selbst hätte vertreten und in gedrängtester Form hätte angeben können, was die Erklärung zu leisten hatte. — Der, der sich, ohne eine solche Hülfe zu besitzen, auf den Standpunkt stellte, von welchem aus Newton das

Weltsystem erklärt hatte, ist Carl Friedrich Gauss: er verlässt alle Annahmen, um nur die unzweideutigen Bedingungen zu verfolgen, welchen das Hervortreten der magnetischen Kraft auf der Oberfläche der Erde, durch ihr Gesetz selbst unterworfen ist.

Ich bin weit entfernt, hier den Versuch wagen zu wollen, der Gaussi'schen Erklärung Schritt vor Schritt zu folgen; aber es wird mir vielleicht gelingen, die Richtung, in welcher sie zum Ziele gelangt, einigermassen anzudeuten. — Vorausgesetzt wird nur das bekannte Gesetz der Wirkung der magnetischen Kraft; nämlich dass die beiden magnetischen Stoffe, jenachdem sie gleichnamig oder ungleichnamig sind, sich einander abstossen oder anziehen, und dass dieses mit einer Stärke geschieht, welche in ungleichen Entfernungen, im umgekehrten Verhältnisse ihrer Quadrate ist. Nicht aber darf als bekannt vorausgesetzt werden, wie die magnetischen Theilchen der Erde in ihrer Masse vertheilt sind; noch viel weniger also, dass ihre Vertheilung durchweg gleichförmig wäre. Vielmehr ist nicht zu bezweifeln, dass diese Vertheilung höchst unregelmässig ist, dass gewisse Theile der Erde stark magnetisirt sind, während andere, in ihrer Nähe, keine oder nur eine sehr geringe Magnetisirung besitzen. — Indem die Erklärung der sich auf der Erde zeigenden magnetischen Wirkungen, also nicht von der Kenntniss ihrer Magnetisirung ausgehen kann, kann sie nur in der, den Beobachtungen gemässen Specialisirung solcher allgemeinen Eigenschaften jedes magnetischen Körpers bestehen, welche, als

nothwendige Folgen des Gesetzes der Kraft selbst erkannt werden können. Um anschaulich zu machen, welcher Art die Hülfe ist, die das Gesetz der Kraft hier gewähren kann, erinnere ich an das Gesetz der Schwere und seine nothwendige Folge, nämlich, dass die Himmelskörper sich, auf eine bestimmte Art, in elliptischen Bahnen bewegen: insofern von dieser Bewegung die Rede ist, kennt man ihre eben erwähnte Eigenschaft vorweg und man benutzt die Beobachtungen z. B. eines neu erscheinenden Kometen, nicht zu ihrer Auffindung, sondern nur zur Herleitung dessen, was seine elliptische Bahn von der elliptischen Bahn jedes anderen Himmelskörpers unterscheidet. — Gelingt es, allgemeine Eigenschaften der Wirkung eines magnetischen Körpers, so wie sie sich an seiner Oberfläche zeigt, aufzufinden, so kann — ähnlich dem eben berührten Falle — durch Vergleichung mit den an der Oberfläche der Erde gemachten Beobachtungen, das erkannt werden, was die Erde, in magnetischer Beziehung, von jedem anderen magnetischen Körper unterscheidet. Dieser Uebergang von dem Allgemeinen zu dem Speciellen ist die Erklärung des Magnetismus der Erde.

Ich habe schon angeführt, dass die abstossende und anziehende Wirkung der magnetischen Kraft und die Wirkung der allgemeinen Anziehung, sich in verschiedenen Entfernungen, auf ganz gleiche Art verhalten; nämlich beide umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Beide treffen daher in allgemeinen Eigenschaften ihres Hervortretens an der Oberfläche

eines Körpers, von dessen einzelnen Theilen sie erzeugt werden, zusammen und bringen nur dadurch verschiedenartige Erscheinungen hervor, dass jedes magnetische Theilchen, auf jeden der beiden magnetischen Stoffe, zugleich Abstossung und Anziehung, die allgemeine Anziehung der Materie aber nur die letzere äussert. Die Gleichheit des Gesetzes beider Kräfte verursacht, dass die Aufsuchung der Wirkungen der allgemeinen Anziehung an der Oberfläche der Erde, welche Laplace, in seiner Mechanik des Himmels, auf eine Art verfolgt hat, welche allein ihn unsterblich machen würde, eine Reihe von Momenten darbietet, zwischen welchen und den von der Verfolgung des Magnetismus der Erde dargebotenen, eine durchgehende Analogie stattfindet.

Zwei dieser Momente muss ich hier hervorheben. — Alle Theilchen eines Körpers, deren jedes nach dem zu verfolgenden Gesetze wirkt, bringen, an jedem gegebenen Punkte, eine Gesammtwirkung hervor; eine Kraft, durch deren Kenntniss (sowohl ihrer Stärke als ihrer Richtung nach) also die Wirkung des ganzen Körpers bekannt wird. Laplace hat, statt die Stärke und die Richtung dieser Kraft zu Gegenständen der Untersuchung zu machen, eine Grösse dazu gewählt, welche für jeden Punkt wo jene gesucht werden, einen bestimmten Werth hat und die Eigenschaft besitzt, sowohl die Stärke, als auch die Richtung der Kraft des Körpers und damit auch die Kraft, welche er nach jeder beliebigen Richtung äussert, so zu enthalten, dass sie durch ein leichtes Rechnungsverfahren

daraus abgeleitet werden können. Hierdurch hat er den wesentlichen Vortheil erlangt, dass die Aeusserung der Kraft in jeder Richtung, nicht aus einer besonderen Untersuchung abgeleitet werden darf; dass eine Untersuchung Alles angiebt, was man von der Kraft des Körpers zu wissen wünschen kann, sobald sie dahin gebracht ist, die erwähnte Grösse für jeden Punkt des Raumes kennen zu lehren. Diese Grösse ist die Summe der Kräfte aller Theilchen des Körpers, jede durch die Entfernung des Theilchens von dem Punkte dividirt, an welchem man die Kraft selbst, oder eine ihrer Aeusserungen, kennen lernen will. Die Veränderung, welche ihr Werth erfährt, indem der Punkt, auf welchen sie sich bezieht, beliebig, jedoch sehr wenig, verrückt wird, giebt den Theil der ganzen Kraft zu erkennen, welcher sich in derselben Richtung äussert, in welcher die Verrückung des Punkts vor sich gegangen ist. — Indem diese Grösse alle Aeusserungen der Kräfte, welche von einem Körper ausgehen, in sich begreift, ist sie der eigentliche Gegenstand der Untersuchungen über dieselben; sie verdient durch eine eigene Benennung bezeichnet zu werden, wesshalb Gauss sie Potential genannt hat. *) Die Einführung dieses Potentials in die Betrachtung der Wirkung der Kräfte eines Körpers, ist das erste

*) In Greens Essay on the application of mathematical analysis etc. Nottingham 1828, findet sich die Benennung „potential function," welche, wenn die Abhandlung in deutscher Sprache geschrieben wäre, wohl als „Kräfte-Function" erschienen sein würde.



der beiden Momente der Laplace'schen Untersuchung, welche ich anführen wollte.

Das zweite dieser Momente betrifft die Form des Ausdruckes des Potentials. Indem der Werth, welchen das Potential für einen bestimmten Punkt besitzt, sich mit dem Orte dieses Punkts ändert, muss der Ausdruck desselben die Grössen enthalten, welche zu der Bestimmung des Punkts nothwendig sind. Wenn dieser z. B. durch seine Entfernung vom Mittelpunkte der Erde und durch die Richtung, in welcher er, von diesem aus, erscheint — also durch geographische Breite und Länge — bestimmt wird, so muss der Ausdruck des Potentials diese drei Grössen enthalten und so beschaffen sein, dass der, jedem Punkte zugehörige Werth des Potentials daraus hervorgeht, wenn für die Entfernung, Breite und Länge die jenen bestimmenden Werthe genommen werden. Diesem Ausdrucke des Potentials hat nun Laplace eine Form zu geben gelehrt, welche ihn als die Summe einer Reihenfolge von einzelnen Theilen darstellt, deren Eigenschaft es ist, so wie sie fortschreiten kleiner zu werden; so dass einige der ersten dieser Theile die Werthe des Potentials näherungsweise richtig ergeben, welche Näherung immer weiter getrieben wird, so wie ein neuer Theil der schon angewandten früheren hinzugesetzt wird. Dieses gilt für alle Punkte, welche auf der Oberfläche der Erde und ausser ihr liegen, und zwar wird die fortschreitende Verkleinerung der Theile des Ausdrucks desto stärker, je entfernter von der Erde die Punkte sind. — Diese Eigenschaft des Ausdrucks

des Potentials ist eine allgemeine, d. h. sie findet immer statt, wie auch die Vertheilung der Kräfte im Inneren des Körpers beschaffen sein mag. Man weiss also, ohne irgend eine Voraussetzung über die Vertheilung der magnetischen Kraft in der Erde, dass ihr magnetisches Potential, in Beziehung auf jeden Punkt an ihrer Oberfläche, einen von seiner geographischen Breite und Länge abhängigen Ausdruck hat, welcher aus einer Reihenfolge immer kleiner werdender Theile besteht. Wie Gauss, durch diese wichtige Eigenschaft, zur Erklärung des Magnetismus der Erde gelangt ist, werde ich nun etwas näher andeuten können.

Von dem ersten der immer kleiner werdenden Theile des Ausdruckes des magnetischen Potentials der Erde kann allgemein gezeigt werden, dass er die Summe dreier Grössen ist, deren jede in einen, auf eine verschiedene Art von der geographischen Breite und Länge abhängigen Factor multiplicirt ist; der andere Factor den sie enthält, hängt aber von der Vertheilung des Magnetismus in der Erde ab und ist unbekannt, da diese Vertheilung unbekannt ist. Der erste Theil des Ausdruckes des Potentials enthält also drei unbekannte Grössen. Von ihrem zweiten Theile kann gezeigt werden, dass er deren 5 enthält; von jedem folgenden, dass er zwei mehr enthält als der vorhergehende. Diese unbekannten Grössen lässt die allgemeine — auf alle magnetischen Körper anwendbare — Theorie, völlig unbestimmt, indem die Werthe derselben eben so wohl von der Figur jedes Körpers, als von der in ihm stattfindenden Vertheilung des

Magnetismus abhängig sind. Ihre Bestimmung kann also nur aus Beobachtungen abgeleitet werden, welche geeignet sind, den magnetischen Zustand jedes Körpers zu verrathen. Für die Erde sind dieses die an ihrer Oberfläche gemachten Beobachtungen der magnetischen Declination, Inclination und Intensität. — Jeder, an einem Punkte der Erde, dessen geographische Breite und Länge gegeben sind, beobachtete Werth einer dieser Grössen, liefert, durch seine Vergleichung mit der ihr entsprechenden Anwendung des allgemeinen Ausdrucks des Potentials, eine Gleichung, welche zur Bestimmung der in diesem enthaltenen unbekannten Grössen beiträgt. Da solche Beobachtungen, entweder aller drei zur vollständigen Bestimmung der magnetischen Kraft an einem Punkte der Erde nothwendigen Grössen, oder zweier, oder einer derselben, an beliebig vielen Punkten gemacht werden können, so können immer noch mehr Gleichungen erlangt werden, als die Bestimmung der in jeder verlangten Zahl der Theile des Ausdruckes des Potentials enthaltenen unbekannten Grössen erfordert. — Dass die Grössen, zwischen welchen und ihren Ausdrücken man diese Vergleichungen vornimmt, die magnetische Declination, Inclination und Intensität selbst seien, ist übrigens nicht nothwendig; jede Verbindung derselben kann ebensowohl zum Gegenstande der Vergleichung gemacht werden; sie verdient selbst einen Vorzug, wenn entweder ihre Beobachtung, oder die Ableitung ihres Ausdruckes aus dem des Potentials einfacher ist. Gauss bemerkt z. B., dass die Intensität der in

horizontaler Richtung wirkenden Kraft vortheilhafter verglichen wird, als die der ganzen Kraft.

Ob eine kleinere oder grössere Zahl der sich fortschreitend verkleinernden Theile des Ausdrucks des Potentials bekannt werden muss, damit er eine hinreichende Annäherung gewähre, hängt offenbar von der Schnelligkeit ihrer Verkleinerung ab, welche erst der Erfolg kennen lehren kann, indem sie nur durch die unbekannte Art der Vertheilung des Magnetismus in der Erde bestimmt wird. Ob eine gewisse, willkürlich angenommene Zahl dieser Theile genügt, kann aber dadurch geprüft werden, dass die in ihr enthaltenen unbekannten Grössen durch die Beobachtungen bestimmt werden und dann untersucht wird, ob der dadurch erlangte Ausdruck allen vorhandenen Beobachtungen hinreichend nahe entspricht. Jenachdem sich dieses findet oder nicht findet, kann ein neuer Versuch auf die um eine kleinere oder grössere Zahl der Theile gegründet werden. Offenbar kann man, auf diese Art, den einfachsten, d. h. die kleinste Zahl von Theilen enthaltenden Ausdruck des Potentials finden, welcher das, was von dem Magnetismus der Erde beobachtet worden ist, noch hinreichend nahe darzustellen vermag. — Gauss hat schon durch die vier ersten Theile des Ausdrucks, welche resp. 3, 5, 7, 9, zusammen also 24 unbekannte Grössen enthalten, eine sehr befriedigende Uebereinstimmung zwischen den daraus berechneten und den aus den Beobachtungen allein abgeleiteten, durch ihre Unregelmässigkeit auffallenden Zügen der magnetischen Linien der

Erde erlangt. Sehr interessant ist der Ueberblick hierüber, auf zwei Karten der Declinations-Linien, welche Erman, die eine nach den Beobachtungen, die andere nach der Gaussischen Theorie, entworfen hat und welche die königl. Societät der Wissenschaften in London, in ihrer bekannt gemachten Instruction für die Südpol-Expedition des Capt. James Clark Ross, neben einander gestellt hat.

Wenn ich eben gesagt habe, dass die vier ersten Theile des Ausdruckes des Potentials, deren, den Beobachtungen gemässe Bestimmung die Gaussische Theorie enthält, eine hinreichende Uebereinstimmung mit den Beobachtungen gewähren, so bedarf dieser unbestimmte Ausdruck einer Erläuterung. Im Allgemeinen ist nur die Uebereinstimmung zwischen einer Theorie und den Beobachtungen hinreichend, welche nicht grössere Unterschiede zwischen beiden übrig lässt, als die, die den Unvollkommenheiten der Beobachtungen selbst zugeschrieben werden können. Die Uebereinstimmung, welche hinreichend ist, so lange die Beobachtungen weniger genau sind, hört daher auf es zu sein, wenn sie genauer werden. Die magnetischen Beobachtungen an vielen Punkten der Erde, welche der Theorie haben zum Grunde gelegt werden müssen, besitzen aber noch keinesweges einen Grad von Genauigkeit, dessen baldige Uebertreffung nicht wahrscheinlich wäre. Zwar haben die Beobachter häufig genügenden Apparat mit Kenntniss und Fleiss angewandt; aber sie haben nichts anderes dadurch erlangen können, als die Kenntniss der, während der

Zeit ihres Aufenthalts an einem Orte, sich daselbst zeigenden Aeusserung der magnetischen Kraft, und diese Zeit war gewöhnlich viel zu kurz, oder zwischen verschiedenen Gegenständen der Untersuchung zu stark vertheilt, als dass man hoffen könnte, die Angaben für die meisten Beobachtungsörter, von den vielfältigen, selten fehlenden, mehr oder weniger dauernden Aenderungen der Stärke und Richtung der magnetischen Kraft nicht beeinträchtigt zu sehen. Auch sind zwischen den Zeiten der Beobachtung an verschiedenen Oertern, oft mehrere Jahre verflossen, ohne dass man bis jetzt die Mittel besässe, die jährlichen Veränderungen gehörig in Rechnung zu bringen. Endlich hat ein, wegen seiner Vollständigkeit und seiner Ausdehnung über viele Punkte der Erde, vorzüglich bedeutender Theil der Beobachtungen, nur auf einem Schiffe gemacht werden können, dessen Schwankungen und anziehende Eisenmassen nicht ohne Einfluss auf die Genauigkeit ihrer Resultate haben bleiben können. *) — Alles dieses hat nothwendig hervorbringen müssen, dass eine Theorie für jetzt als hinreichend erkannt werden muss, welche den Beobachtungen näherungsweise, wenn auch nicht bis auf Unterschiede entspricht, von welchen unbedingt behauptet werden könnte, dass sie alle innerhalb der Grenzen der eigentlichen Beobachtungsfehler lägen.

---

*) Humboldt macht die Bemerkung, dass Beobachtungen auf tiefem Meere, vor Beobachtungen auf dem Lande den Vortheil voraushaben, dass sie sicher um die Dicke der Wasserschichte von jeder festen Störungsursache entfernt gemacht werden.

Gauss fordert, dass man den speciellen Theil seiner Theorie, nämlich die Zahlenwerthe der 24 unbekannten Grössen, welche in den vier ersten Theilen des Ausdruckes des Potentials enthalten sind, als einen ersten Versuch dieser Art betrachten solle. Er hält auch für wahrscheinlich, dass ein Zurückkommen darauf, noch die Hinzusetzung des fünften Theils als erforderlich zeigen wird; wodurch noch 11 unbekannte Grössen zu den 24 jetzt in der Theorie enthaltenen, hinzukommen werden. Er unterlässt übrigens nicht, 103 unmittelbare Beobachtungen der Declination, 102 der Inclination und 95 der Intensität, in den entferntesten Theilen der Erde gemacht, mit seiner speciellen Theorie zu vergleichen um dadurch zu zeigen, dass diese den magnetischen Erscheinungen auf der Erde, nicht nur im Ganzen genügt, sondern auch, vergleichungsweise mit dem was vor ihr zu leisten war, wenig zu wünschen übrig lässt.

Es versteht sich, dass eine Theorie, deren unbekannte Grössen dem zu einer bestimmten Zeit beobachteteten magnetischen Zustande der Erde gemäss, bestimmt worden sind, diesen Zustand nur so darstellen kann, wie er zu derselben Zeit war. Sollte sie auch von seinen Veränderungen Rechenschaft geben, so müssten ihre unbekannten Grössen nicht mehr beständige, sondern veränderliche sein; oder ihren Werthen für eine bestimmte Zeit müssten noch von der Zeit abhängige Veränderungen hinzugesetzt werden. Der Theil dieser Zusätze, welcher die beobachtete, Jahrhunderte lang in einem gleichen

Sinne fortschreitende und daher sehr gross werdende Veränderung erklären soll, ist noch in völliges Dunkel gehüllt, welches erhellt zu sehen, für jetzt noch keine Hoffnung vorhanden ist. Ein anderer Theil der nöthigen Zusätze, welcher die täglichen, auch einen Einfluss der Jahreszeiten verrathenden Aenderungen ausdrücken soll, wird wahrscheinlich weit früher gefunden werden als der vorige: seine sich nicht verbergende Periode deutet wenigstens unverkennbar auf seine Ursache, nämlich die Sonne, was jedoch nicht so verstanden werden muss, als würde eine unmittelbare und magnetische Wirkung derselben dadurch erwiesen; auch verheisst die Kürze dieser Periode die baldige Erlangung einer hinreichend vollständigen Kenntniss der Erscheinung selbst. Ein dritter Theil der Zusätze müsste die beobachteten, mehr oder weniger plötzlichen Störungen der Richtung und Stärke der magnetischen Kraft erklären; aber dass man je dahin gelangen sollte, ihr Eintreten unbestimmt lange voraus bestimmen zu können, ist eben so wenig zu erwarten, als der ähnliche Erfolg in Beziehung auf Gewitter und Stürme. Arago hat eine interessante, hierher gehörige Bemerkung gemacht; nämlich dass ein am Abend sichtbar werdendes Nordlicht, schon am Tage, durch ungewöhnliches Verhalten der magnetischen Störungen geahnet werden kann.

Aus dem eben Angeführten geht hervor, dass für jetzt noch von keiner anderen Erklärung des Magnetismus der Erde die Rede sein kann, als von einer, sich auf eine bestimmte Zeit beziehenden; denn die

Beobachtungen haben keinen Theil der Zusätze, wodurch sie auf eine unbestimmte Zeit ausgedehnt werden könnten, so weit entwickelt, dass er wirklich gemacht werden könnte. Indessen muss man die Beziehung der Erklärung auf eine bestimmte Zeit nicht so verstehen, dass sie den von Augenblick zu Augenblick sich verändernden Zustand des Magnetismus der Erde, für einen bestimmten dieser Augenblicke darstellte; sondern so, wie er in diesem Augenblicke erscheinen würde, falls die täglichen und die unerwarteten Aenderungen gar nicht vorhanden wären. Um den wahren, in einem bestimmten Zeitmomente stattfindenden Zustand des Magnetismus der Erde zu erkennen, müsste man von Beobachtungen ausgehen, welche genau in diesem Zeitmomente, an einer zu seiner Erfindung hinreichenden Zahl von Punkten der Erde, gemacht wären; um aber den mittleren, von den täglichen und den unerwarteten Aenderungen befreieten Zustand kennen zu lernen, muss man mittlere Resultate so vieler Beobachtungen, an jedem Punkte, zum Grunde legen, dass man hoffen darf, die Spuren dieser Störungen darin verschwinden zu sehen.

Die Anordnung von fortgesetzten, solche mittlere Resultate, für viele Punkte der Erde verheissenden Beobachtungen ist also erforderlich, wenn die Erklärung des Magnetismus der Erde eine Grundlage erhalten soll, deren Sicherheit der Sicherheit der Beobachtungen selbst angemessen ist. Mit grossem Erfolge hat Alexander von Humboldt die Kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Petersburg,

(November 1829) und den Herzog von Sussex, als Präsidenten der Königl. Societät der Wissenschaften in London (April 1836) aufgefordert, ihre Einflüsse zur Gründung von bleibenden magnetischen Observatorien, in den weiten Umfängen der, beiden Kronen huldigenden Reiche, zu verwenden. Denn die erstere dieser Aufforderungen hat eine, unter der Leitung von Kuppfer vortrefflich gedeihende, regelmässige Beobachtungsreihe zur Folge gehabt, welche sich von Helsingfors und von Tiflis, bis nach Sitcha und nach Peking erstreckt; die andere aber hat nicht allein die Expedition des Capitains Ross nach den Südpolarmeeren und die von ihr ausgehende Errichtung fester magnetischer Observatorien an den entlegensten Punkten der Erde, sondern auch die Ergreifung der letzteren Massregel an Punkten in Canada, Indien, Vandiemensland u. m. veranlasst. — An vielen Orten von Europa hat das von Göttingen aus, über den Magnetismus verbreitete Licht, ähnliche Massregeln hervorgerufen, auf welche ich jedoch noch einmal zurückkommen werde.

Wenn diese Massregeln die beabsichtigten Erfolge geäussert haben werden, wird dadurch die Hoffnung auf eine Verbesserung der jetzigen Bestimmung der unbekannten Grössen der Theorie des Erdmagnetismus vermehrt werden. Allein man wird nie so weit gelangen, dass man die Aeusserung der magnetischen Kraft an jedem Punkte der Erde, eben so genau durch die Theorie finden könnte, als man sie beobachten kann. Den Grund hiervon werde ich zu erklären suchen. Jeder magnetische Theil der Erde, wie gross

oder klein seine Kraft auch sein mag, hat einen Antheil an den Werthen der unbekannten Grössen der Theorie; offenbar aber hat ein, vergleichungsweise mit dem Ganzen, unbedeutender Theil, z. B. ein Magnet von einem Centner Gewicht, einen so unbedeutenden Theil daran, dass sein Vorhandensein oder Nichtvorhandensein keinen merklichen Unterschied dieser Werthe erzeugen kann. Dennoch aber wird dieser unbedeutende Theil des Ganzen, so unmerklich seine magnetische Wirkung schon in der Entfernung von 100 Schritten sein wird, in noch kleinerer eine grosse zeigen, sogar eine so grosse, dass sie die Wirkung aller übrigen magnetischen Theile der Erde übertrifft; oder, mit anderen Worten, derselbe magnetische Theil der Erde, welcher die Werthe der unbekannten Grössen der Theorie nur unmerklich ändern kann, wird die Aeusserung der magnetischen Kraft der Erde, an Punkten in seiner Nähe, sehr erheblich ändern. Beides scheint im Widerspruche mit einander zu sein, indem die Theorie aus der Gesammtwirkung aller magnetischen Theile der Erde folgt, und dennoch die Wirkung einer derselben nicht wiederzugeben scheint; allein die Aufklärung ist nicht schwierig: der unbedeutende Körper hat allerdings unbedeutende Einflüsse auf die einzelnen unbekannten Grössen der Theorie, allein ihre Anzahl ist unbegrenzt, und der sie alle enthaltende Ausdruck ist so beschaffen, dass er sie allein in der Nähe ihrer Ursache zusammenhäuft, während er sie, in jeder grösseren Entfernung, einander entgegenwirken lässt, so dass sie sich gegenseitig bis zum Unmerk-

lichwerden vernichten. Wenn jener Ausdruck aber schon nach wenigen seiner ersten Glieder abgebrochen wird, so werden dadurch unzählige der unbedeutenden Einflüsse weggelassen, wesshalb dann von ihrer Zusammenhäufung zu einer beträchtlichen Grösse nicht mehr die Rede sein kann. — Ich glaube, dass diese Bemerkung verständlich machen wird, dass eine, nur wenige Anfangsglieder des Ausdruckes des Potentials berücksichtigende Theorie des Erdmagnetismus, nur einen gewissen Normalzustand desselben angeben kann, seine kleineren Störungen aber verschweigen muss*). Ferner, dass die Anzahl der unbekannten Grössen, wovon die Kenntniss des Erdmagnetismus abhängt, oder die Anzahl seiner Elemente, keinesweges eine bestimmte ist und ihre Beschränkung auf die 24 von Gauss jetzt ausgemittelten, oder die 35, welche bei der Berücksichtigung auch des 5ten Theils des Ausdruckes des Potentials auszumitteln gewesen sein würden, u. s. w. nicht zu einer erschöpfenden Kenntniss des Erdmagnetismus führen kann. Endlich, dass das Interesse der Genauigkeit der Beobachtungen, insofern es sich um ihre Benutzung als Grundlage der Kenntniss des allgemeinen magnetischen Zustandes der Erde handelt, durch seine, von der Theorie verschwiegenen örtlichen Störungen geschwächt wird; dass also die Genauigkeit der Beobachtungen ihre

*) Man kann hieraus leicht weiter schliessen, dass wenige Anfangstheile des Ausdruckes des Potentials gar keine Näherung gewähren würden, wenn der Magnetismus der Erde nur aus häufigen, unregelmässig auf ihrer Oberfläche zerstreuten magnetischen Theilen hervorgingen.

Anstellung an sehr vielen Punkten der Erde nicht überflüssig machen kann, so dass z. B. das mittlere, von den örtlichen Störungen wahrscheinlich schon ziemlich freie Resultat, von 10, in dem Umkreise weniger Meilen gemachten einzelnen Beobachtungen, für die Erforschung des allgemeinen magnetischen Zustandes der Erde, grösseres Gewicht hat, als die zehnmalige, an dem Mittelpunkte dieses Umkreises vorgenommene Wiederholung einer Beobachtung.

Ich habe schon angeführt, dass die Gaussische Theorie des Magnetismus der Erde, durch das Zeugniss der Beobachtungen so weit gerechtfertigt wird, als der jetzige Zustand der Sache nur irgend erwarten lassen kann. Ihre fernere Verfeinerung wird eine bildliche Darstellung dieser Theorie und der aus ihr hervorgehenden verschiedenartigen Aeusserungen der magnetischen Kraft auf der Erde, nur noch in Einzelnheiten ändern können. Wir verdanken Wilhelm Weber, „der keine Aufopferung scheuet, wo es gilt, der Wissenschaft einen Dienst zu leisten,“ *) eine solche Darstellung auf 18 Blättern, wobei ihn die Herren Dr. Goldschmidt, Draschussof und Heine thätig unterstützt haben. Diese 18 Blätter versinnlichen die Werthe des magnetischen Potentials an allen Punkten der Erdoberfläche; die von Süden nach Norden, die von Osten nach Westen, die von Oben nach Unten wirkenden magnetischen Kräfte; die horizontalen Intensitäten, die Declinationen, die Inclinationen

*) Werke von Gauss.

und die ganzen Intensitäten der magnetischen Kraft. Auch zeigen sie diejenige Vertheilung der magnetischen Stoffe an der Oberfläche der Erde, welche auf Punkte dieser Oberfläche und auf äussere, genau so wirken würde, wie die unbekannte Vertheilung des Magnetismus in der Erde wirklich wirkt. Aber die Erleichterung der vollständigen Uebersicht über alle Aeusserungen der magnetischen Kraft an der Oberfläche der Erde, ist es nicht allein, was dem Verfasser dieser Karten allgemeinen Dank sichert; sie bereiten auch eine fernere Verbesserung der Theorie vor, indem Abweichungen der Beobachtungen von dem Dargestellten, auf ihnen verzeichnet, zur fortschreitenden Berichtigung des Zuges der Linien und dadurch wieder zu einer Verbesserung der Theorie führen werden. Dieser Anwendung der Karten wegen, hat Weber den grössten Fleiss auf die Richtigkeit ihrer Zeichnung gewandt.

Die Untersuchungen von Gauss haben noch zu einem Resultate über den Magnetismus der Erde geführt, welches zwar nicht die sich uns zeigenden Erscheinungen berührt, jedoch zu merkwürdig ist, um hier unerwähnt bleiben zu dürfen. Ich habe oben anzudeuten versucht, wie es möglich ist, das Verhältniss der magnetischen Kraft einer Nadel zu der horizontalen magnetischen Kraft der Erde, an einem beliebigen Punkte, kennen zu lernen; auch habe ich gesagt, dass Gauss dieses Verhältniss in Göttingen bestimmt hat. Das Verhältniss der sich an diesem Orte zeigenden horizontalen Kraft, zu der ganzen magnetischen Kraft

der Erde, kann dagegen durch die Bestimmungen der Gaussischen Theorie gefunden werden. Die Verbindung beider Verhältnisse führt zu der Kenntniss des Verhältnisses der magnetischen Kraft der Nadel zu der ganzen magnetischen Kraft der Erde. Ungefähr auf diese Art hat sich gefunden, dass 8464 Trillionen Magnetnadeln von einem Pfunde Gewicht, deren Axen sämmtlich gleiche Richtung besitzen, erforderlich wären, die magnetische Wirkung der Erde im äusseren Raume zu ersetzen; vertheilt man sie gleichförmig durch den ganzen Erdkörper, so erhält jeder Würfel von anderthalb Fuss Seite eine davon. Indem aber die Materie der Erde an ihrer Oberfläche, meistens ohne merkliche magnetische Wirkung, gewiss im Ganzen weit weniger magnetisirt ist, als sie sein würde, wenn jeder Würfel von der angegebenen Grösse so viel Magnetismus enthielte als die Magnetnadel von einem Pfunde; so kann man sich der Annahme nicht entziehen, dass die Magnetisirung der Erde im Innern weit grösser sein muss als an der Oberfläche. Dieses widerstreitet der oft geäusserten Meinung, dass der Magnetismus der Erde sich nur an ihrer Oberfläche befände.

Das was ich von dem Magnetismus der Erde angeführt habe, muss hinreichen, zu zeigen, wie die letzten Jahre ihn zu einer festbegründeten Wissenschaft erhoben haben. Aber Gauss hat nicht allein die Theorie dieser, vorher räthselhaften Erscheinung und ihre erste Anwendung gegeben, sondern er hat auch vielfältige Mittel in Bewegung gesetzt, wodurch

die experimentelle Kenntniss der Erscheinung selbst beträchtlich gefördert worden ist und werden wird. Ich darf meinen Bericht über diesen Gegenstand nicht schliessen, ohne der Massregeln erwähnt zu haben, welche gegenwärtig alle Blicke auf Göttingen lenken. Als die Bemühungen des oftgenannten grossen Geometers anfingen, sich dem Magnetismus zuzuwenden, hatte er das Glück, in Wilhelm Weber einen Theilnehmer seiner Arbeiten zu finden, dessen Scharfsinn früher schon in verschiedenen Gebieten der Naturlehre, unvergängliche Spuren zurückgelassen hatte. Die Verbindung Beider besteht bis zu diesem Augenblicke: Webers Eifer für den Magnetismus hat ihn bis jetzt in Göttingen erhalten, obgleich seine dortige öffentliche Stellung, in Folge von Ereignissen aufgehört hat, deren — unseren Nachkommen schwer zu erläuternde! — Wirkung gewesen ist, das unbedeutende Gewicht des Politikers Weber, schwerer gemacht zu haben, als das bedeutende des Naturforschers Weber. Beide gemeinschaftlich machen, von 1836 an, jährlich die Resultate ihrer eigenen Forschungen und der Beobachtungen eines von ihnen gestifteten Vereins bekannt. Wie allgemein, über alle Seiten der Kenntniss des Magnetismus ausgebreitet, die Bemühungen von Gauss und Weber sind, lässt schon ihre Verbindung erwarten, und vier vorhandene Bände ihres Werkes beweisen es. Die Erfindung einiger neuen Methoden, welche die Vervollkommnung oder Erleichterung der Beobachtungen zum Ziele haben, darf ich nicht ohne alle Andeutung übergehen. —

Der oben schon erwähnten Methode, die magnetische Intensität nach absolutem Masse zu messen, hat Weber eine Aenderung hinzugesetzt, welche zu der Erfindung eines nicht beträchtlich weniger sicheren Resultats führt, nur einen kleinen, fast ohne alle Vorbereitung anwendbaren Apparat voraussetzt und sich aus diesem Grunde, verbunden mit der Leichtigkeit ihrer Ausführung, solchen Beobachtern empfiehlt, welche das Resultat suchen, ohne mehr als eine leicht zu erlangende Ausrüstung zu besitzen. Für das Bedürfniss der Reisenden sorgt Weber durch einen Apparat, welcher alle Arten magnetischer Beobachtungen zu gewähren bestimmt ist, und dessen sinnreiche Zusammensetzung dennoch seine leichte Uebertragung von einem Orte nach einem andern nicht beinträchtigt. — Sehr merkwürdig ist aber eine Methode Webers, welche die Messung der magnetischen Inclination, auf Beobachtungen an einer horizontalen Nadel zurückführt. Dieses ist möglich geworden, durch eine höchst scharfsinnige Benutzung einer der merkwürdigsten Entdeckungen dieses Jahrhunderts, der Entdeckung nämlich, dass Magnetismus durch einen galvanischen Strom, und dieser wieder durch die Bewegung eines Magneten hervorgerufen werden kann. Die Idee, welche Weber verfolgt hat, forderte die Erfindung einer Einrichtung, welche es möglich macht, zuerst durch den lothrecht wirkenden Theil der magnetischen Kraft der Erde allein, mit gänzlicher Ausschliessung des wagerecht wirkenden, einen galvanischen Strom hervorzurufen und diesen zur Ablenkung einer Magnet-

nadel aus dem magnetischen Meridiane zu verwenden; dann aber den zu demselben Zwecke zu verwendenden galvanischen Strom, durch den wagerecht wirkenden Theil der magnetischen Kraft der Erde allein hervorzurufen. Diese Erfindung ist ihm gelungen, und eben so ist es gelungen, von den Ablenkungen der Magnetnadel in beiden Fällen, auf die Kräfte, welche sie mittelbar erzeugt haben, nämlich auf die lothrecht und die wagerecht wirkenden magnetischen Kräfte der Erde, zurück zu schliessen, so dass das Verhältniss der einen zu der andern und damit die Neigung der ganzen magnetischen Kraft bekannt wird. Von der Ausführung dieser Methode ist bis jetzt nur ein vorläufiger Versuch, mit einem, ohne Ansprüche auf ein zuverlässiges Resultat zusammengesetzten Apparate gemacht, bekannt geworden — aber man braucht den Erfolg nicht abzuwarten, um der Feinheit der Erfindung seinen Tribut zu bringen! — Allein die Verbindung zwischen Magnetismus und Galvanismus, worauf diese Methode beruhet, haben sowohl Gauss, als Weber in weit grösserer Ausdehnung verfolgt, mit einer Vorliebe, welche den durch sie gewährten Aussichten auf wichtige Aufschlüsse angemessen ist. Von der grossen Ausdehnung, welche die Forschungen Beider in diesem Gebiete schon erlangt haben, ist bis jetzt nur Einzelnes bekannt geworden, welches, wie das davon Angeführte, durch seine Berührungen hervortrat. Ohne alle Erwähnung glaubte ich nicht daran vorübergehen zu dürfen, aber diese muss für jetzt genügen. — Im Fortgange seiner Beschäftigungen

mit dem Magnetismus, hat Gauss ein neues Princip der Messung aller Arten von Kräften — nicht bloss magnetischen — gefunden, welches in der Folge, in allen Untersuchungen, deren Zweck diese Messung ist, eine wesentliche Rolle spielen wird. Es ist dieses die Aufhängung eines Körpers an zwei, einander parallelen, sehr langen Fäden, wovon die offenbare Folge ist, dass er nur in einer bestimmten Richtung zur Ruhe gelangen kann, nämlich, wenn keine drehende Kraft auf ihn wirkt, in der Richtung, in welcher die beiden Fäden und sein Schwerpunkt sich in einer lothrechten Ebene befinden. Wird er, durch irgend eine Kraft, aus dieser Richtung gedrehet, nimmt er also eine andere an, so wird die Erhöhung seines Schwerpunkts, welche durch die Drehung erzeugt und durch ihre Grösse bekannt wird, das Mass der sie erzeugenden Kraft: diese wird also unmittelbar mit der Schwere verglichen. Coulomb hat bekanntlich denselben Zweck der Messung von Kräften durch die Drehwage erreicht, durch einen, an einem, der Drehung einen gewissen Widerstand entgegensetzenden Faden aufgehängten Körper. Der Gaussische Bifilar-apparat ist eine Verbesserung dieser Drehwage, welche der individuellen Kraft des Fadens, der Drehung zu widerstehen, die allgemeine Schwere an die Stelle setzt. Eine Anwendung dieses Apparates ist es auch, durch welche die früher erwähnte, unmittelbare Beobachtung der Veränderungen der horizontalen Intensität der magnetischen Kraft der Erde erlangt worden ist. Von der Allgemeinheit des Eifers, an den

Beobachtungen Theil zu nehmen, welche die Erlangung einer genaueren Kenntniss der Art des Hervortretens der unerwarteten Störungen der magnetischen Kraft zum Zwecke haben, kann ein Verzeichniss der Oerter, von welchen dergleichen Beobachtungen bekannt geworden sind, eine Vorstellung geben: Alten, Altona, Berlin, Breda, Breslau, Catania, Copenhagen, Freiberg, Göttingen, Haag, Hannover, Heidelberg, Kierisvara, Kremsmünster, Leipzig, London, Marburg, Mayland, Messina, München, Prag, Seeberg, Stockholm, Upsala. — Vereine von der Art des Göttingers sind unschätzbar, weil sie die Kraft besitzen, erregtem Eifer für einen wissenschaftlichen Gegenstand, eine nützliche Richtung anzuweisen!

Der Eifer für die Erforschung des Magnetismus der Erde, ist, mit der Annäherung an die Zeit, wo diese eine Wissenschaft werden sollte, fortschreitend gewachsen. Aehnliches zeigt die Geschichte der Wissenschaften immer: man muss daraus schliessen, dass der Eifer Fortschritte zur nothwendigen Folge hat, und dass diese Fortschritte wieder den Eifer vermehren. In diesem Jahrhundert gewinnt der Eifer für den Magnetismus der Erde neues Leben; Alexander von Humboldt erregt ihn und steigert ihn durch eigene Erfolge. — Bald wird er kräftig genug, Unternehmungen hervorzubringen, welche die Vervollständigung der Beobachtung des magnetischen Zustandes der entlegentsten Punkte der Erde, zum einzigen, oder hauptsächlichen Zwecke haben. Der Werth, den die magnetischen Bestimmungen erlangen, welche

Humboldt von seinen Reisen mitgebracht hat, bewegt Hansteen und Erman, ähnliche in Sibirien und Kamtschatka einzusammeln; den letzeren, früher fehlende Mittel zu suchen, wodurch vollständige magnetische Bestimmungen an allen Punkten der durchsegelten Meere möglich werden. — Der magnetische Apparat fängt an, ein hauptsächlicher Theil der Ausrüstung aller Reisenden zu werden. — In wenigen Jahren liefern sie eine hinreichende Grundlage für die Gaussische Theorie. — Es gelingt Humboldt, die Regierungen von England, Frankreich, Russland .... für den Magnetismus der Erde zu interessiren und grosse, kostbare Expeditionen sind die Folge davon. — Diese rüsten sich mit den Gaussischen Apparaten aus und folgen den ihnen von Humboldt vorgezeichneten Wegen. — Alles dieses strebt einem Ziele zu, welches nicht mehr in unbestimmter Entfernung, sondern schon im Gesichtskreise liegt.

So grosse Leistungen eines noch nicht halb vollendeten Jahrhunderts wollte ich meinen Zuhörern nicht länger verbergen. Nur andeutende Striche, welche das Leben und die Farbe der Bilder nicht verrathen, habe ich versuchen können. Ich habe gefühlt, dass das Ausmalen jedes einzelnen der angedeuteten Gegenstände grössere Befriedigung gewährt haben würde; aber ich habe ihre Andeutung dennoch vorgezogen, weil ich nur dadurch den Zusammenhang des umfangsreichen Ganzen anschaulich zu machen die Möglichkeit erlangen konnte.

Ueber Wahrscheinlichkeits-Rechnung.

Wenn ich wage, die verehrte Physicalische Gesellschaft von der Wahrscheinlichkeits-Rechnung zu unterhalten, so muss ich diesem Gegenstande wohl ein solches eigenthümliches Interesse zutrauen, dass ich ihn als eine Ausnahme von der, leicht aus der Erfahrung abzuleitenden Regel: dass nämlich alle Rechnung und selbst ihr Resultat, nicht zum mündlichen Vortrage taugt — annehme. Dieses Zutrauen zu meinem Gegenstande habe ich wirklich, denn wenn irgend eine Art von mathematischen Betrachtungen in häufiger Berührung mit dem ganzen Umfange unsers Wissens, mit den Vorfällen des täglichen Lebens steht, so ist es die mathematische Untersuchung der Wahrscheinlichkeit. Freilich ist man nicht daran gewöhnt, manche Dinge von dieser Seite zu betrachten, allein es wird sich leicht nachweisen lassen, dass dieselben Gesetze, nach welchen das Würfelspiel sich richtet, eine sehr ausgedehnte Rolle in der Welt spielen, und dass man oft darauf stösst, wo man sie am wenigsten erwartet.

Unser Wissen zerfällt in zwei Theile: es beruht auf Gewissheit, oder auf Wahrscheinlichkeit. Gewiss

ist nur, was die unmittelbare Beobachtung gegeben hat, oder was daraus, durch eine Reihe richtiger, meistens mathematischer Schlüsse, abgeleitet worden ist; wahrscheinlich dagegen ist das was uns durch Zeugnisse, oder durch Folgerungen aus Beobachtungen, deren Richtigkeit und Unzweideutigkeit nicht streng dargethan werden können, bekannt geworden ist. Der erste Theil ist gross — er enthält das ganze Reich der mathematischen Wahrheiten, die zahllose Menge von Thatsachen, welche die Natur uns darbietet, die Ereignisse, welche unter unseren Augen vorgehen; aber auch der andere Theil ist gross, denn er enthält alle bevorstehende Ereignisse, wovon wir die Gesetze nicht ergründen können, er enthält die Thatsachen, welche die Geschichte uns überliefert: er umfasst das Fallen des Würfels und das Schicksal der Völker.

Vieles was nur wahrscheinlich ist, heisst im gemeinen Leben gewiss, immer dann, wenn die Wahrscheinlichkeit sehr gross ist. Dass z. B. Julius Caesar gelebt hat, heisst gewiss, denn es wird uns durch viele und glaubwürdige Zeugnisse, und durch ein Eingreifen in andere Ereignisse verbürgt; dass die sieben Römischen Könige gelebt haben, heisst zweifelhaft, oder gar unwahrscheinlich, denn die Zeugnisse dafür erscheinen minder glaubwürdig und werden durch andere Dinge noch geschwächt. Dennoch ist unsere Kunde von Caesar gleichartig mit der von den sieben Königen; nur in den Graden ihrer Stärke sind beide verschieden; während die eine so schwach ist, dass wir nicht glauben, darauf fussen zu dürfen,

ist die andere so stark, dass jeder Zweifel uns unvernünftig erscheint: genau genommen ist aber das eine Ereigniss nur sehr viel wahrscheinlicher als das andere; der Zweifel ist nicht unvernünftiger, als die Hoffnung aus vielen Millionen schwarzen Kugeln, eine einzelne weisse, aufs gerathewohl herauszufinden: er ist also nicht eigentlich unvernünftig, sondern nur sehr schwach. Solche geringe Grade des Zweifels werden im gemeinen Leben ganz übersehen; stärkere aber treten mehr hervor. — Wo ist nun die Grenze, wo ist das Màss der Wahrscheinlichkeit für zwei Ereignisse, welche beide gewiss heissen? — könnte man dieses Mass finden, so würde jedem Ereignisse sein rechter Platz angewiesen werden können; man würde in Zahlen nachweisen können, ob diese oder jene Erklärung wahrscheinlicher ist. In der Geschichte aber, so wie in allen Dingen, welche nicht auf Grössenverhältnisse zurückgeführt werden können, mögte ein Mass der Wahrscheinlichkeiten schwer zu entdecken sein; man wird es nie dahin bringen, den historischen Thatsachen, ausser der Jahreszahl, noch eine andere Zahl beischreiben zu können, welche ihre Wahrscheinlichkeit bezeichnet.

Dagegen sind aber sehr viele Dinge vorhanden, deren Wahrscheinlichkeit man abmessen kann, und von den Mitteln, welche dazu benutzt werden können, werde ich einiges sagen.

Die ganze Theorie der Wahrscheinlichkeiten beruht auf dem was man Zufall zu nennen pflegt. Ob eine Münze, welche ich aufwerfe, auf den Kopf oder

das Wappen niederfallen wird, das nehmen wir für eine Wirkung des Zufalls; bei einigem Nachdenken aber bemerkt man leicht, dass die Art des Niederfallens die Wirkung einer Ursache sein muss, dass die Münze sich eben so wenig willkürlich bewegen kann als der Jupiter, dass in dem Aufwerfen selbst schon das Niederfallen bestimmt ist; — allein man bemerkt auch, dass die geringste Aenderung im Aufwerfen hinreicht, eine andere Seite nach Oben zu bringen, dass eine neue sehr geringe Aenderung wieder die erste Seite nach Oben bringt u. s. w. — Diese Aenderungen sind so gering, dass unsere Sinne nicht hinreichen, sie einzeln, und selbst nicht einmal in sehr zahlreichen Anhäufungen, wahrzunehmen, so dass wir daher auch nicht im Stande sind, den einen, oder den anderen Effect willkürlich hervorzubringen oder vorauszubestimmen. Für uns ist daher das Niederfallen der Münze dem Zufalle unterworfen und durch dieses Beispiel ist der Sinn gegeben, welchen man mit dem Worte verbindet. Man wird immer von Zufall reden, wenn man nicht im Stande ist zu übersehen, wie eine Wirkung mit einer vorangegangenen Ursache verbunden ist; wenn man diese nicht kennt; wenn der Ursachen so viele sind, dass es uns unmöglich ist, sie zu trennen und einzeln bis zur Wirkung zu verfolgen. Wer erläuternde Beispiele für den Begriff des Zufalls haben will, darf nicht weit suchen; jedes Ereigniss, zu welchem wir nicht durch Rechnung oder andere Schlüsse gelangen können, heisst Zufall: es verliert diesen Namen, sobald wir seine

Verbindung mit den Ursachen nachweisen können. Ein Gewitter, welches die Sonne verdunkelt, heisst Zufall: eine, durch den Mond verursachte Sonnenfinsterniss heisst nicht Zufall: von dem einen Ereignisse wissen wir nicht die Ursachen, von dem anderen sind sie uns sehr bekannt; — es hat aber eine Zeit gegeben, wo eine Finsterniss auch Zufall hiess — viele Dinge, welche jetzt Zufall heissen, werden in der Folge diesen Namen verlieren und es ist überhaupt klar, dass der ganze Begriff relativ ist. Als Newton anfing Licht in der Welt zu verbreiten, wurde Vieles aus dem dunkelen Reiche des Zufalls hervorgezogen; ein anderer Newton würde die Ursachen anderer Dinge enthüllen, und es ist ein Verstand denkbar, für welchen wenig Zufälliges übrig bleiben würde. Dass dieses ein menschlicher Verstand ist, behaupte ich nicht; allein wenn es auch dem Menschen je gelingen könnte, alles Dunkel aufzuhellen, so würde dennoch, ehe dieses geschehen ist, die nähere Betrachtung des Zufalls, uns sehr interessant sein müssen; denn nur durch diese können wir in den Stand gesetzt werden, die Zuversicht zu beurtheilen, mit welcher wir auf Erscheinungen rechnen können, deren Ursachen uns fremd sind, die aber nichtsdestoweniger, der Erfahrung zufolge, gewissen Gesetzen folgen.

Diejenigen Dinge, welche wir, als dem Zufalle unterworfen annehmen, beurtheilen wir unbekümmert um die, sie erzeugenden Ursachen; für diese Art der Beurtheilung geht also die Natur der Dinge ganz

aus der Betrachtung heraus, und es wird gleichgültig, von welcher Natur sie sind. Man hat daher Mittel gesucht, die sogenannten Zufälle im Allgemeinen zu beurtheilen, in der Absicht, auf jeden vorkommenden Fall eine Anwendung davon zu machen: man hat diese Mittel in der Vergleichung mit dem Würfelspiele gefunden und Jacob Bernoulli war der erste, welcher in einem im Jahre 1713 herausgegebenen, „Ars conjectandi“ betitelten Werke, diese Bahn brach und dadurch vielfältige spätere Untersuchungen der Mathematiker veranlasste, welche durch ein, vor einigen Jahren erschienenes grosses Werk von Laplace, nun in ihrem ganzen Umfange vor Augen liegen.

Man kann sich einen Würfel mit einer beliebigen Menge Seiten denken, etwa ein Prisma von 3, 4, 5, 6 oder mehreren Seiten: wäre eine von diesen Seiten schwarz, die anderen weiss, so würde es offenbar desto weniger wahrscheinlich sein, die schwarze Seite oben zu werfen, je grösser die Anzahl der Seiten ist. Für zwei Seiten, eine schwarze und eine weisse, ist offenbar die Wahrscheinlichkeit beider gleich: man wird mit demselben Rechte auf die schwarze als auf die weisse rechnen können, und der würde, vorausgesetzt, dass lange gespielt wird, gewiss verlieren, der jedesmal, wenn die schwarze Seite oben fällt, zwei Thaler gäbe, und wenn die weisse oben fällt, nur einen Thaler erhielte. In diesem Falle, nämlich eines Würfels mit zwei Seiten, heisst daher die Wahrscheinlichkeit beider Fälle mit Recht gleich. Ein Würfel mit 3 oder mehreren Seiten wird dagegen

öfter eine der weissen, als die einzige schwarze Seite oben bringen, und man urtheilt mit Recht, dass es wahrscheinlicher ist eine weisse Seite oben zu werfen, als die schwarze. Für zwei Seiten ist die Wahrscheinlichkeit, für weiss sowohl als für schwarz $= \frac{1}{2}$; für drei Seiten ist die Wahrscheinlichkeit für weiss $= \frac{2}{3}$, für schwarz $= \frac{1}{3}$; für 4 Seiten hat weiss die Wahrscheinlichkeit $\frac{3}{4}$ und schwarz $\frac{1}{4}$ u. s. w. — wären auf einem Würfel von 12 Seiten 7 weisse und 5 schwarze, so würde die Wahrscheinlichkeit für weiss $\frac{7}{12}$ und für schwarz $\frac{5}{12}$ sein; wenn ich mit einem solchen Würfel werfe, so muss ich, wenn ich für jeden weissen Wurf 5 Thaler erhalten soll, für jeden schwarzen 7 Thaler zahlen; zahle ich weniger, so werde ich wahrscheinlich gewinnen, zahle ich mehr, so werde ich wahrscheinlich verlieren; denn es ist kein Grund vorhanden, oder vielmehr wir nehmen dieses bei der Wahrscheinlichkeits-Rechnung an, warum die eine Seite eher oben fallen soll als die andere; die grössere Anzahl der weissen Seiten wird also zur Folge haben, dass weiss häufiger oben fällt. — Hieraus geht also hervor, welches Mass man an die Wahrscheinlichkeiten legt: die Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{2}$ ist die, welche genau auf der Wage steht, und welche eben sowohl das eine Ereigniss als das andere zur Folge haben kann; von Dingen, welche diese Wahrscheinlichkeit haben, kann man weder behaupten, dass sie wahrscheinlich sind, noch dass sie unwahrscheinlich sind. Aber Dinge, deren Wahrscheinlichkeit auch nur ein Weniges unter $\frac{1}{2}$ ist, sind unwahrschein-

lich, andere, deren Wahrscheinlichkeit über $\frac{1}{2}$ ist, wahrscheinlich zu nennen; resp. desto wahrscheinlicher oder unwahrscheinlicher, je grösser die Abweichung ihrer Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ ist. — Wir haben hierdurch das Mittel, die Wahrscheinlichkeit oder Unwahrscheinlichkeit eines Ereignisses genau zu beurtheilen, aber die Anwendung desselben führt gemeiniglich auf grosse, oft unüberwindliche Schwierigkeiten, indem man die Data oft nicht besitzt, von welchen diese Beurtheilung abhängt.

Wenn man mit einem Würfel wirft, welcher 7 weisse und 5 schwarze Seiten hat, so ist die Wahrscheinlichkeit für weiss $= \frac{7}{12}$, für schwarz $= \frac{5}{12}$, wie oben schon bemerkt wurde; wenn man viele Tausend Mal mit diesem Würfel würfe, so würde die Anzahl der weissen Würfe, sich zu der der schwarzen, wie 7 zu 5 verhalten, desto näher, je grösser die Anzahl der Würfe im Ganzen ist. Wüsste man daher nicht, wie viele weisse und schwarze Seiten ein Würfel enthält, so würde man dadurch, dass man mit diesem Würfel sehr häufige Würfe machte, und die Anzahl der weissen und schwarzen abzählte, herausbringen können, dass die Anzahl der weissen Seiten, sich zu der der schwarzen verhält, wie 7 zu 5; dieses Resultat der Beobachtung würde für desto sicherer zu halten sein, je öfter man geworfen hätte. Es giebt also zwei Mittel die Anzahl der Seiten zu erkennen: das eine ist die Abzählung am Würfel selbst, das andere die Beobachtung der Wirkung, welche der Würfel hervorbringt.

Ich hoffe, dass die geehrte Physicalische Gesellschaft mir verzeihen wird, wenn ich etwas lange von Abzählungen und dergleichen geredet habe. Es war aber durchaus nothwendig, wenn der wahre Berührungspunkt der Wahrscheinlichkeits-Rechnung mit den vorkommenden Ereignissen, hervorgehoben werden sollte. Nehmen wir das zuletzt gesagte allgemeiner, so stellt die unbekannte Anzahl der weissen und schwarzen Seiten, die unbekannten, irgend einer Erscheinung günstigen oder ungünstigen Ursachen dar; die Abzählung der Würfe wird im allgemeinen die Aufzählung der Fälle wo das Ereigniss stattfindet und nicht stattfindet; das herausgebrachte Verhältniss der Anzahl der weissen und schwarzen Seiten, wird daher das Verhältniss der Fälle, in welchen auf das Eintreffen des Ereignisses zu rechnen ist, zu denen, wo nicht darauf zu rechnen ist. Hätte man z. B. hundert Mal beobachtet, dass, wenn das Barometer einen halben Zoll unter seinen mittleren Stand fällt, 60 Mal ein Sturm folgt, so würde die Wahrscheinlichkeit eines Sturms, nachdem das Barometer wirklich um $\frac{1}{2}$ Zoll gefallen ist, $\frac{60}{100}$ oder $\frac{6}{10}$ sein; man würde also den Sturm für wahrscheinlich zu halten haben, selbst wenn die Verbindung, in welcher er mit dem Barometer steht, ganz unbekannt wäre; man würde dieses nicht nur im Allgemeinen wissen, sondern auch noch, dass unter 10 Malen, wo das Barometer $\frac{1}{2}$ Zoll fällt, 6 Mal ein Sturm zu erwarten ist. Dass aber dergleichen bestimmte Angabe der Wahrscheinlichkeit, von Interesse und Nutzen ist, wird klar, wenn man

überlegt, dass die meisten Massregeln, welche wir ergreifen, nicht durch einen **gewissen** Erfolg, sondern durch grössere oder geringere Wahrscheinlichkeit motivirt werden. — Um auch dieses durch ein Beispiel zu erläutern, wollen wir uns in die Lage eines Schiffers versetzen, welcher aus Erfahrung weiss, dass ein Sturm ihm einen gewissen Schaden zufügt, z. B. 100 Thaler; läuft er **heute** nicht aus, so muss er seinen Abladern 50 ℛ𝓉 für die Zögerung zahlen; — nun ist das Barometer um ½ Zoll gefallen, soll er die 50 ℛ𝓉 zahlen, oder sich der Gefahr des Sturms aussetzen? — ich glaube, dass hier die Stimmen getheilt sein werden; der eine wird die zweifelhafte Gefahr dem sicheren Verluste vorziehen, der andere wird lieber 50 ℛ𝓉 zahlen, um nicht im ungünstigen Falle 100 ℛ𝓉 zu verlieren — **Recht** hätte aber der letztere, denn die Wahrscheinlichkeit des Sturms ist $\frac{6}{10}$, also unter 10 Malen wo er, bei ähnlichen Verhältnissen, ausläuft, wird er 6 Stürme zu erwarten haben, welche ihm einen Verlust von 600 ℛ𝓉 zuziehen, im Durchschnitte also jedes Mal 60 ℛ𝓉; es versteht sich, dass er wohl thun würde, diesen Verlust jedesmal durch 50 ℛ𝓉 abzukaufen. — Es werden aber sehr viele Massregeln ergriffen, welche auf ähnlichen Betrachtungen beruhen sollten, gewöhnlich aber nach Schätzungen beurtheilt werden, welche mehr oder weniger unsicher sind, theils weil man die wahren Gründe des Urtheils nicht deutlich genug entwickelt, theils weil man sich nicht Mühe gegeben hat, die Thatsachen, welche die Erfahrung hätte geben können, nach Mass und Zahl gehörig zusammenzustellen.

Die Anwendungen des Princips, dass die Wahrscheinlichkeit der Verbindung zweier Ereignisse, durch Abzählung der beobachteten Fälle, gefunden werden kann, bis ins Einzelne zu verfolgen, würde hier zu weit führen. Ich glaube aber darauf aufmerksam machen zu müssen, dass man diese grosse Quelle der Erkenntnisse im gemeinen Leben viel zu wenig benutzt, und dass man, aus dieser Ursache, sehr häufig über die Wahrscheinlichkeit oder Unwahrscheinlichkeit von Ereignissen zweifelhaft ist, welche aus ordentlichen Beobachtungen, d. i. aus wirklicher Abzählung der günstigen und ungünstigen Fälle, so entschieden werden könnten, dass man bestimmt angeben könnte, ob ein hinlänglicher Grund dafür oder dawider vorhanden ist.

Die Mathematiker haben in dieser Materie einen sehr bedeutenden Schritt vorwärts gethan, dadurch dass sie Mittel gefunden haben, die Sicherheit durch Rechnung zu bestimmen, mit welcher man auf ein Ereigniss rechnen kann, welches die Beobachtungen als wahrscheinlich gegeben haben; diese Sicherheit wächst offenbar mit der Anzahl der beobachteten Fälle. Hätte man z. B. mit dem oben schon erwähnten Würfel von 7 weissen und 5 schwarzen Seiten, nur 100 Mal geworfen, so würde man weit weniger sicher darauf rechnen können, dass das Verhältniss der Anzahl der weissen Würfe, zu der der schwarzen, dem Verhältnisse von 7 zu 5 sehr nahe kömmt, als wenn man 1000, 10000 oder 100000 Mal geworfen hätte. Man würde aber im Stande sein, durch Rechnung

anzugeben, wie sicher man auf das aus 100 Würfen herausgebrachte Verhältniss rechnen kann, wie sicher auf das aus 1000 herausgebrachte u. s. w., und diese Sicherheit wächst in einem so starken Verhältnisse, dass die Grenze des wahrscheinlichen Fehlers bald so eng wird, dass das herausgebrachte Verhältniss nicht mehr merklich von der Wahrheit abweicht.

Wenn man etwas so beobachten will, dass man der Sicherheit, welche man dadurch erlangt, sich deutlich bewusst ist, so kann es nur durch Anwendung dieser Theorie geschehen. Man hat erst in den letzten Jahren grossen Nutzen daraus ziehen gelernt, und ich glaube nicht zu irren, wenn ich annehme, dass, nach einer Reihe von Jahren, das erste Capitel aller Lehrbücher der auf Erfahrung beruhenden Wissenschaften, der Anwendung der Wahrscheinlichkeits-Rechnung auf die Beobachtungskunst gewidmet sein wird. — Freilich werden nicht sogleich die Data zu dieser Anwendung vorhanden sein, indem es sich leicht zeigen mögte, dass vieles, was wir jetzt Beobachtung nennen, kaum diesen Namen verdient; neue Beobachtungen aber erforderen Zeit, oft sehr viele Zeit: in der Medicin, Staatswirthschaft und dergleichen Materien, wo die allgemeine Regel, durch zahlreiche Zufälle mächtig gestört wird, wird sie erst später mit der Sicherheit durchblicken, welche vorhanden sein muss, wenn das beobachtete Resultat auf Zutrauen Anspruch haben soll. Auf welcher Stufe Vieles von dem steht, welches im gemeinen Leben als aus der Erfahrung hervorgegangen, angesehen wird, kann man nach einigen,

täglich vorkommenden, täglich zu prüfenden, dennoch aber ganz irrigen Angaben, beurtheilen. So sagt Jedermann, dass der Mondwechsel das Wetter ändert; jeder meint, aus eigener Erfahrung zahlreiche Beobachtungen dafür gemacht zu haben — und dennoch ist nichts ungegründeter als diese Behauptung, wie wirkliche Abzählungen, die einen Zeitraum von 50 Jahren umfassen, beweisen; ein anderes Beispiel von Leichtgläubigkeit in der Annahme von Ereignissen, welche als aus Beobachtungen geschlossen, angegeben werden, scheint mir aber noch viel merkwürdiger zu sein: in St. Malo, wo die Ebbe und Flut eine ungewöhnliche Höhe erreicht, wurde es als ausgemacht angesehen, dass die Todesfälle nur zur Zeit des fallenden Wassers sich ereignen; man hatte seit Jahrhunderten Gelegenheit gehabt, diese auffallende Erscheinung zu prüfen, allein sie wurde nie bezweifelt. Endlich wurde, von Seiten der Pariser Akademie, ein Ausschuss hingesandt, um sich von der merkwürdigen Thatsache an Ort und Stelle zu überzeugen — da fand sich, dass die Menschen starben, sowohl bei steigendem als bei fallendem Wasser; dass seit hundert Jahren, nach dem Zeugnisse der Kirchenbücher, weder Ebbe noch Flut auf die Todesfälle gewirkt hatte. — Ich halte diese Beispiele für sehr merkwürdig; man würde wohl nicht sehr weit suchen dürfen, um ähnliche, welche aber wichtigere Dinge angehen, zu finden. Hätte man aber, von der Wahrscheinlichkeits-Rechnung geleitet, stets die Beobachtungen angestellt, so würde man nicht nur wissen,

dass Vieles grundlos ist, was man jetzt glaubt, sondern auch, man würde manche Regel, durch ein Heer von Zufälligkeiten durchblicken sehen, welche jetzt noch ganz unerkannt ist, da sie nicht so stark durchblickt, dass sie gewissermassen von selbst sich aufdringt. —

Was ich hier im Allgemeinen gesagt habe, hat bei den astronomischen Beobachtungen und Untersuchungen, bereits sehr interessante Anwendungen gefunden, wovon ich Einiges anführen werde. Wenn man eine einfache Beobachtung macht, z. B. die Entfernung eines Sterns vom Scheitelpunkte misst, so erhält man nie was man erhalten will, sondern immer nur eine Annäherung daran; je vollkommener das Instrument ist, je vorsichtiger und geschickter der Beobachter, desto stärker wird die Annäherung werden; allein die Wahrheit wird nie erreicht, denn einige Unvollkommenheiten hat das Instrument immer, andere entstehen aus unseren, wenn auch durch die stärksten Vergrösserungen geschärften Sinnen, wieder andere aus dem Zittern der Luft, aus der Beleuchtung der Theilungen und aus zahllosen kleinen Ursachen, deren Möglichkeit vorhanden ist, ohne dass berechnet werden könnte, wie sie wirken. Dieses zeigt sich auch durch den Erfolg; wenn die heutige Beobachtung morgen wiederholt wird, so fällt sie ein wenig anders aus, übermorgen wieder anders. Zu den Zeiten der Urväter der Astronomie betrugen die Unterschiede halbe Grade, zu Tycho's Zeiten einzelne Minuten, und jetzt kann man, wenn man solche Hülfsmittel besitzt, wie

sie auf meiner Sternwarte vorhanden sind, mit ziemlicher Sicherheit darauf rechnen, dass die morgende Beobachtung sich nicht über eine Secunde von der heutigen entfernt. Trotz dieser grossen Genauigkeit kann ich eben so wenig als Tycho behaupten, dass die Beobachtung mehr als eine Annäherung an die Wahrheit ist. Aber man sucht die Wahrheit; was soll man dafür annehmen, die heutige Beobachtung oder die morgende? — Offenbar wäre beides gleich falsch, denn es ist kein Grund vorhanden, weshalb die eine der anderen vorgezogen werden sollte. Man nimmt daher das Mittel aus allen, welche man gemacht hat, und diese Vorschrift lässt sich streng rechtfertigen, wenn auch der grosse Lambert eine Einwendung dagegen machte. Das was man durch dieses Mittel erhält, ist aber immer noch nicht die Wahrheit, sondern es weicht davon um eine unbekannte Quantität ab, welche wahrscheinlich desto kleiner wird, je grösser die Anzahl der Beobachtungen und je vollkommener die Hülfsmittel sind. Man übersieht auch ohne Rechnung, dass diejenige Beobachtungsreihe, welche grössere und häufigere Unterschiede vom Mittel zeigt, ein weniger sicheres Resultat giebt als eine andere, deren Abweichungen in engeren Grenzen liegen; aber die Wahrscheinlichkeits-Rechnung gewährt die Mittel, dieses bestimmter zu erkennen; sie lehrt, wie man die Güte der Beobachtungen, aus den dabei vorkommenden Unterschieden selbst, bestimmen soll; sie giebt eine Grenze, innerhalb welcher ein Fehler eben so wahr-

scheinlich ist, als ausserhalb derselben. Diese Grenze heisst der wahrscheinliche Fehler einer Beobachtung, und nur sie gewährt das Mittel, zwei Beobachtungsreihen, so wie die aus ihnen gezogenen Resultate gegen einander genau abzuwägen. Bei dieser Ansicht der Sache ist daher nicht mehr die Rede von wahren astronomischen Bestimmungen; nur wahrscheinliche sucht und findet man, und unter verschiedenen Bestimmungen desselben Gegenstandes, ist diejenige die beste, für deren Wahrscheinlichkeit man die grösste Zahl angeben kann.

Verfolgt man diese Betrachtungen weiter, so führen sie auch auf den rechten Weg, in Fällen wo er weit schwerer zu erkennen ist, z. B. da wo nicht mehr von einfachen Beobachtungen, sondern von Resultaten die Rede ist, welche aus ganzen Reihen von Beobachtungen geschlossen werden müssen. Die Bahn eines Himmelskörpers ist z. B. durch 3 vollständige Beobachtungen gegeben; hat man aber 100 Beobachtungen gemacht, so kann man sie also so bestimmen, dass sie entweder diesen drei, oder jenen drei Beobachtungen vollkommen entspricht, und es ist klar, dass man, weil die Beobachtungen nur Annäherungen an die Wahrheit sind, stets nur eine angenäherte Bahn, und zwar bei jeder neuen Combination eine andere, erhalten wird. Welche von allen Bahnen, die man auf diese Art berechnen kann, soll man aber annehmen? — die Antwort auf diese Frage ertheilt die Wahrscheinlichkeits-Rechnung, sie lehrt unter den unzähligen Bahnen, welche man aus den Beobach-

tungen entwickeln kann, diejenige herauszufinden, welche die grösste Wahrscheinlichkeit für sich hat; sie lässt der Willkür gar keinen Raum, und der Rechner, welcher, vor der Entwickelung dieser Theorie, sich begnügen musste, etwas herauszubringen, was, nach dem Masse seiner Umsicht und Geschicklichkeit, besser oder schlechter mit den Beobachtungen stimmte, hat es jetzt völlig in seiner Gewalt, das Beste was sich aus den Beobachtungen ableiten lässt, ganz methodisch zu finden. Er leistet dadurch freilich auf den Ruhm der Geschicklichkeit, welcher ihm sonst gezollt wurde, wenn er den Beobachtungen sehr nahe genügte, Verzicht; im Gegentheile verdient er Tadel, wenn er nicht den allerhöchsten Punkt, zu dem ja der Zugang geöffnet ist, erreicht. — Aber eben so viel wie dadurch die Astronomen verlieren, eben so viel gewinnt die Astronomie und es ist nicht zu bezweifeln, dass sie, indem die Beobachtungen, durch diese Erfindung, ein ganz anderes Gewicht erhalten, in einem Jahre stärkere Fortschritte machen kann, und wirklich gemacht hat, als früher in 10 Jahren.

So wie man dasjenige Resultat stets finden kann, von welchem sich nachweisen lässt, dass es allen anderen, auf denselben Beobachtungen beruhenden, vorzuziehen ist, so kann man auch die Unsicherheit bestimmen, welche es der Wahrscheinlichkeit nach noch besitzt. In der That ist es nicht genug, behaupten zu können, dass eine Folgerung die wahrscheinlichste ist, welche man aus einer vorhandenen

Beobachtungsreihe ziehen kann; denn es folgt daraus noch nicht, dass sie an sich wahrscheinlich ist. Es ist gewiss, dass selbst diese wahrscheinlichste Bestimmung noch von der Wahrheit abweichen wird, und die wahrscheinlichen Grenzen dieser Abweichung sind es, welche nothwendig angegeben werden müssen, wenn man das Zutrauen deutlich vor Augen haben will, welches der Bestimmung gebührt. Hat der Eine z. B. die Umlaufszeit eines Kometen = 100 Jahren gefunden, und die wahrscheinliche Unsicherheit derselben ½ Jahr; der Andere die Umlaufszeit = 102 Jahren und den wahrscheinlichen Fehler 1 Jahr, so ist die Wahl zwischen beiden Bestimmungen nicht mehr willkürlich, die erste verdient unbedingt den Vorzug. So habe ich z. B. bei einer der ersten Anwendungen, welche ich von diesen Betrachtungen machte, die wahrscheinlichste Wiederkehrszeit des Olbers'schen Kometen auf den 9. Februar 1887 bestimmt, und den wahrscheinlichen Fehler derselben = 101 Tagen, so dass man den Zeitraum, innerhalb welchem man die Wiederkehr zu erwarten hat, unmittelbar beurtheilen kann. Ohne diese Betrachtungen würde der Zweifel sich auf mehrere Jahre belaufen haben, und jedem Anderen hätte eine neue Untersuchung offen gestanden; jetzt aber kann man das bestimmte Resultat der Beobachtungen erlangen, und wer ein anderes berechnet, findet ein schlechteres. Welche Sicherheit und Festigkeit die Astronomie durch diese Anwendung der Wahrscheinlichkeits-Rechnung erhalten hat, fällt daher in die Augen.

So wie es aber allen neuen Dingen geht, so ist es auch diesen Anwendungen der Wahrscheinlichkeits-Rechnung ergangen. Viele, die nicht in ihren Geist eingedrungen sind, halten sie für überflüssig oder gar fremdartig. Delambre hat in seiner Astronomie viel Unüberlegtes hierüber gesagt und die Recensenten in den englischen Literaturzeitungen gefallen sich, darüber zu spotten, dass einige Astronomen des Continents jetzt die Bahn der Kometen, die Figur der Erde, die Entfernung der Sonne, oder was es sonst sei, nicht mehr der Wahrheit, sondern der Wahrscheinlichkeit gemäss bestimmen. Wir können dieses leicht dulden, allein wir hätten Ursache ihnen sehr dankbar zu sein, wenn sie uns lehrten, diese Dinge nach der Wahrheit festzusetzen; nur wo es uns versagt ist, die Wahrheit zu erkennen, müssen wir uns mit der Wahrscheinlichkeit begnügen. Man hat nie etwas anderes gethan oder thun können; allein oft hat man das Wahrheit genannt, was nur Wahrscheinlichkeit war, und auch von dieser nicht der höchste erreichbare Grad. Den Pythagoreischen Lehrsatz hat Niemand nach der Wahrscheinlichkeit beweisen wollen — weil er sich nach der Wahrheit beweisen lässt.

Von den Anwendungen dieser Betrachtungen auf die Astronomie habe ich etwas lange gehandelt; lieber hätte ich eine Anwendung auf andere Wissenschaften gemacht, welche mit dem täglichen Leben mehr Berührungen haben, allein theils entbehret sie dort noch gänzlich der Ausbildung, und ich selbst bin von anderen Dingen zu wenig unterrichtet, um einen eigenen

Versuch wagen zu können. Ieder, der aber hierüber nachzudenken geneigt ist, wird Gelegenheit genug haben, zu bemerken, dass das was ich von der Astronomie gesagt habe, nur ein Beispiel ist und dass dieselben Dinge, wenn auch in anderer Form, allenthalben vorkommen. Jede, von der Erfahrung zur Theorie sich emporarbeitende Wissenschaft, fängt mit den Beobachtungen an, lernt von der Wahrscheinlichkeits-Rechnung diese anzustellen und zu benutzen, und schliesst endlich, mit der wahrscheinlichsten Theorie. In der Astronomie ist z. B. die Praxis eine Aufgabe der Wahrscheinlichkeits-Rechnung, die Theorie eine Aufgabe der höheren Mechanik. Vor 150 Jahren war es anders, man dachte weder an Wahrscheinlichkeits-Rechnung noch an Mechanik — aber was war da die Wissenschaft gegen jetzt? — ein Chaos von einzelnen Erscheinungen, während sie jetzt ein zusammenhängendes Ganzes bildet, dessen einzelne Theile, durch die genannten kräftigen Bänder, aufs innigste verbunden sind. Es ist sehr lehrreich, den Gang zu betrachten, welchen die Wissenschaft genommen hat, um dahin zu gelangen: sie ist keinesweges von vorausgeschickten Systemen zur Erkenntniss gelangt, so wie es wohl an anderen Orten versucht wird, sie hat im Gegentheile stets die Beobachtungen um Rath gefragt und sich stets gehütet, etwas unter ihre Sätze aufzunehmen, was nicht aus diesen hervorgegangen wäre. Sie ist dadurch freilich nicht sprungweise zum Ziele gelangt, sondern im langsamsten, sichersten Schritte. Wir wollen diesen

bedächtigen Schritt allen Erfahrungswissenschaften wünschen, und hoffen, dass die Wahrscheinlichkeits-Rechnung den rechten Tact dazu, bald so hörbar angeben wird, dass jede Entfernung davon Auge und Ohr beleidigt.

Ueber die Verbindung der astronomischen Beobachtungen mit der Astronomie.

Erwarten Sie nicht, verehrte Zuhörer, dass ich Jhnen heute neue, oder auch nur alte astronomische Resultate mittheilen werde. Ich habe vielmehr die Absicht, um Ihre Aufmerksamkeit zu bitten, auf das, woraus sie sich entwickeln müssen, auf die Verbindung zwischen den astronomischen Beobachtungen und der Astronomie selbst. — Sollte ich Ihnen, labentibus annis, von dem was sich, nach und nach, aus dieser Verbindung entwickelt hat, etwas vorüberführen dürfen, so hoffe ich, dass das was Sie heute sehen müssen, die Anschaulichkeit davon vermehren wird. Ein Blick in Wallensteins Lager eröffnete die Handlungen, welche daraus hervorgingen — wie dieses Lager mögen Sie ansehen, was ich Ihnen heute zeige. Vergleichen müssen Sie aber nicht weiter!

Sie wissen, welche Aufgabe die Astronomie zu lösen hat; die Oerter am Himmel soll sie angeben, wo Sonne, Mond, Planeten, Kometen und Sterne gestanden haben, stehen und stehen werden. So

lange nothwendig ist, jedesmal am Himmel nachzusehen, um zu erfahren, wo einer dieser Körper sich befindet, so lange ist keine Astronomie vorhanden. Die Astrologen waren keine Astronomen, wenn sie waren wie die Dichter sie zeichnen, denn sie mussten, am Vorabend eines wichtigen Ereignisses, ihre Warte besteigen, um die Zukunft ihrer Helden zu erfahren; wären sie Astronomen gewesen, so hätten sie, ohne nach den Sternen zu sehen, ihre Stellungen gekannt; sie hätten sie nicht nur für diese Zeit gekannt, sondern für alle Zeiten, für die ganze Lebensdauer ihrer Helden. Bei dieser Gelegenheit will ich jedoch, so wenig es übrigens hieher gehört, bemerken, dass die Figur, welche die Dichter von den Astrologen zeichnen, wohl nur eine Manier sein wird, vergleichbar der Manier, welche sich, auf aegyptischen Monumenten, in der Zeichnung von Menschen und Thieren findet, die wirklich nie so ausgesehen haben wie diese Bilder. Der Astrolog der Dichter wird von aller Kenntniss entkleidet, indem er nachsehen muss, was diese ihn gelehrt haben würde; dadurch wird dem Verstande des Helden das schlechte Compliment gemacht, dass er sich über die wahre Natur dieses Nachsehens täuschen lässt. Ist das die Absicht der Dichter gewesen? —

Aber auch in unserer prosaischen Welt kommt es vor, dass das Beobachten der Gestirne als Beweis astronomischer Kenntniss angesehen wird, während es doch klar ist, dass die Astronomie, je vollkommener sie ihre Aufgabe löset, desto freier von

dem Beobachten werden muss. — Dennoch, je mehr von grosser Vollkommenheit der Astronomie geredet wird, desto eifriger sehen wir die Astronomen sich mit ihren Instrumenten beschäftigen! — Die Astronomen müssen offenbar nicht an jene grosse Vollkommenheit glauben, und doch sind sie es gerade, welche davon reden. Ich werde diesen Widerspruch aufzuklären versuchen. Ich muss Ihnen aber vorhersagen, dass der Weg, der uns dahin führen wird, ein langer ist, selbst wenn jede Krümmung auf das Sorgfältigste vermieden wird.

Dass ein sehr grosser Zwischenraum zwischen den astronomischen Beobachtungen und der Astronomie, d. h. der Kenntniss der Bewegungen der Gestirne liegt, werde ich leicht anschaulich machen können. Setzen Sie sich nur in den Fall, durch gute Augen und instrumentale Hülfsmittel, in den Stand gesetzt zu sein, die Richtung, in welcher ein Gestirn in diesem Augenblicke erscheint, richtig auffassen zu können, also eine astronomische Beobachtung — die nichts anderes ist als diese Auffassung — machen zu können; machen Sie diese Beobachtung zu hundert verschiedenen Zeiten, — dann haben Sie hundert Richtungen, in welchen das Gestirn nach und nach erschienen ist; — aber werden Sie dadurch wissen, in welcher Richtung es zu jeder späteren Zeit erscheinen wird, oder zu jeder früheren erschienen ist? — gewiss nicht! — die hundert Richtungen nach dem Gestirne bleiben so lange isolirte Thatsachen, ohne alle Consequenz, bis es dem Verstande gelungen sein wird,

eine Verbindung zwischen ihnen und dem Vorangegangenen und Folgenden aufzufinden. Die Beobachtungen machen also nicht die Astronomie, sondern der Verstand macht sie; die ersteren enthalten, an sich selbst kein Atom davon, aber sie sind das Material, woraus der Verstand die Astronomie zusammensetzen kann. — Erlauben Sie mir an ein, freilich stark verbrauchtes, Gleichniss von Bausteinen und einem Gebäude zu erinnern: sind die Steine gar nicht vorhanden, so entsteht sicher auch kein Gebäude; sind sie nicht fest, so erhält es keine Dauer; sie mögen aber so fest und gut behauen sein als man will, so ist erstlich gar nicht nothwendig, dass sie zu einem Gebäude zusammengefügt werden, und zweitens, wenn auch dieses geschieht, kann eben sowohl die Kuppel von St. Peter, als eine Dorfkirche daraus gemacht werden.

Ich muss näher erklären, was ich unter einer astronomischen Beobachtung verstehen werde. An sich ist sie, wie ich schon gesagt habe, die Auffassung der Richtung, in welcher ein Gestirn gesehen wird; allein diese Richtung muss so bezeichnet werden, dass sie von jeder anderen unterschieden werden kann. Anschaulich ist Jedem, ohne Zweifel, die Bezeichnungsart der geographischen Lage der Oerter auf der Erde: sie besteht in der Angabe ihrer geographischen Breite und Länge. Ganz analog hiermit ist die Angabe des Ortes eines Gestirns an der Himmelskugel, d. h. die Bezeichnung seiner Richtung. Das Auge des Beobachters wird in den Mittelpunkt dieser Kugel

versetzt, und der Aequator und die Meridiane werden auf sie gezeichnet, genau so wie wir sie auf der Erdkugel sehen. Wird jetzt die Richtungslinie nach einem Gestirne gezogen, so geht sie von dem Mittelpunkte der Kugel, wo sich ja das Auge befindet, aus, und durchschneidet ihre Oberfläche an einem Punkte, dessen Lage auf der Kugel ihre Richtung angiebt und nun durch Breite und Länge genau so bestimmt wird, wie die Lage eines Ortes auf der Erdkugel. Was aber hier Breite heisst, heisst dort Abweichung; was hier Länge heisst, heisst dort Geradeaufsteigung. Aber die Längen der irdischen Oerter werden von einem Meridiane an gezählt, welchen man willkürlich wählen kann, und welcher bekanntlich oft der von Ferro ist, oft der von Paris, der von Greenwich — oder wie die Oerter heissen mögen, welche die Eigenliebe der verschiedenen Völker zu den ersten gemacht hat; — statt eines solchen willkürlichen Anfangspunktes der Längen, hat die Himmelskugel einen bestimmten Anfangspunkt der Geradenaufsteigungen, nämlich den Punkt ihres Aequators, wo dieser von der Bewegungslinie der Sonne durchschnitten wird, indem sie von der Südseite des Aequators auf seine Nordseite übergeht, also den Punkt, wo die Sonne sich im Augenblicke der Frühlingsnachtgleiche befindet. — Eine Beobachtung eines Gestirns ist also die Angabe seiner Geradenaufsteigung und Abweichung, gültig für den Augenblick, in welchem sie gemacht worden ist. Die Erfindung dieser Angabe ist das, was durch die

Hülfsmittel, welche die Sternwarten besitzen, beabsichtigt wird.

Wir können uns nun von der Beobachtungsreihe eines Gestirns, zum Beispiele eines Planeten, eine anschauliche Vorstellung machen. Sie giebt seine verschiedenen Oerter an der Himmelskugel genau so an, wie die Oerter eines Schiffes durch die Längen und Breiten angegeben werden, welche sein Tagebuch für jeden Mittag bestimmt enthält. So wie man den Weg des Schiffes, oder um schärfer zu reden, die Punkte dieses Weges, welche es an jedem Mittage eingenommen hat, nach diesen Angaben auf eine Seekarte zeichnen kann, eben so kann man auch den Weg des Planeten an der Himmelskugel, nach seinen beobachteten Geradenaufsteigungen und Abweichungen, auf eine Himmelskarte zeichnen. Allein man lernt den Weg des Schiffes aus dieser Aufzeichnung nicht so genau kennen, als durch die Zahlen selbst, woraus sie entstanden ist; und eben so versteht es sich, dass man den Weg des Gestirns der Genauigkeit berauben würde, welche die Beobachtungen seiner Kenntniss geben, wenn man von diesen zu einer Aufzeichnung übergehen wollte. Für die wissenschaftliche Anwendung fällt daher dieses Versinnlichungsmittel weg, und für sie ist nur das Zahlenverzeichniss vorhanden, welches die Geradenaufsteigungen und Abweichungen, zur Zeit der verschiedenen Beobachtungen, enthält.

Die Astronomie hat keine andere Aufgabe, als Regeln für die Bewegung jedes Gestirns zu finden, aus welchen sein Ort, d. h. seine Geradeaufsteigung

und Abweichung, für jede beliebige Zeit, folgt. Sie kann aber nicht mehr leisten, als ihre Regeln den vorhandenen Beobachtungen des Gestirns entsprechend zu machen; dass sie, wenn sie sich bei allen vorhandenen Beobachtungen bewähren, sich auch in zukünftiger Zeit bewähren werden, ist ein Schluss, welcher auf der Voraussetzung beruhet, dass willkürliche Veränderungen der Bewegung nicht eintreten; aber diese Voraussetzung ist wenigstens der bisherigen Erfahrung gemäss, welche nie die geringste Spur irgend einer unmittelbaren Einwirkung auf die Bewegungen der Himmelskörper, einer solchen nämlich, welche nicht Folge stetig wirkender Ursachen wäre, verrathen hat. — So wie die vorhandene Beobachtungsreihe die einzige Quelle ist, aus welcher die Astronomie schöpfen kann, so ist ihre Verpflichtung auch vollkommen erfüllt, sobald sie diese Quelle erschöpft hat. Hierdurch erhält sie ein ganz bestimmtes Ziel, und zwar ist es zu jeder Zeit bestimmt; so wie die Zeit fortschreitet und zu der jetzt vorhandenen Beobachtungsreihe Beiträge liefert, dehnt sich die Verpflichtung der Astronomie auch auf diese aus. Soll sie alles leisten, was man von ihr fordern kann, so müssen ihre Regeln mit der ganzen, stets vorhandenen Reihe von Beobachtungen, so vollkommen übereinstimmen, dass sich nie ein so grosser Unterschied findet, dass man ihn nicht der Unvollkommenheit der Beobachtungen zuschreiben könnte.

Die Regeln, welchen die Bewegung eines Gestirns folgt, sind jedesmal das Resultat der Anwendung einer

allgemeinen, allen, einem gleichen Bewegungsgesetze unterworfenen Gestirnen, gemeinschaftlichen Theorie, auf den besonderen Fall; welche Anwendung dadurch erlangt wird, dass gewissen Grössen, welche die allgemeine Theorie — gerade weil sie allen ähnlichen Fällen entsprechen muss — unbestimmt lässt, die besonderen Werthe gegeben werden, welche sich auf den Fall jedes Gestirns beziehen. Ich muss dieses durch ein Paar Worte erläutern: Kepler hat bekanntlich gelehrt, dass jeder Planet sich in einer elliptischen Bahn um die Sonne bewegt, so dass diese den einen ihrer beiden Brennpunkte einnimmt; dass der Raum, welcher von einem Bogen dieser Bahn und den von seinen beiden Endpunkten nach der Sonne gelegten Radien eingeschlossen wird, in demselben Verhältnisse wie die Zeit wächst; dass die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten sich zu einander verhalten, wie die Würfel der grossen Axen der Bahnen, welche sie beschreiben. Betrachtet man diese Kepler'schen Lehren als ein Gesetz, wonach alle Planeten sich wirklich bewegen, so sind sie das was ich eben ihre allgemeine Theorie genannt habe; obgleich also diese für alle Planeten gleich ist, so ist die besondere Theorie eines jeden von ihnen, doch von der eines anderen völlig verschieden, denn die Ellipse, welche er beschreibt, ist eine andere; sie hat die ihr eigenthümlichen Werthe ihrer grössten und kleinsten Axe, und die ihr eigenthümliche Lage im Raume, und der Planet steht, zu irgend einer bestimmten Zeit, an einem bestimmten Punkte ihres

Umfanges. Diese Eigenthümlichkeiten der Bewegung jedes Planeten muss man kennen, wenn man die allgemeine Theorie aller Planeten — nämlich, der gegenwärtigen Annahme gemäss, die Kepler'schen Gesetze — zu der besonderen, ihm zugehörigen machen will; zu ihrer Kenntniss ist erforderlich, dass man 6 Grössen kenne, nämlich die beiden Axen seiner Ellipse, drei zur Bestimmung ihrer Lage im Raume erforderliche Grössen, und den Punkt der Ellipse, wo er sich zu irgend einer gegebenen Zeit befand. — Kennt man also diese 6 Grössen, welche man die 6 Elemente der Planetenbahn nennt, so kennt man damit, falls er sich wirklich nach den Kepler'schen Gesetzen bewegt, seine Bewegung vollständig, und kann also daraus berechnen, wo er sich in jedem Augenblicke am Himmel befindet oder befunden hat.

Ich hoffe, nun leicht darstellen zu können, von welcher Art der Nutzen ist, den die Astronomie, wenn es sich um die Kenntniss der Bewegung eines Planeten handelt, aus seinen vorhandenen Beobachtungen ziehen kann. Zuerst will ich annehmen, dass man ihrer Untersuchung, die in den Kepler'schen Gesetzen enthaltene allgemeine Theorie zum Grunde legen will und, gleichviel durch welche Mittel, schon zu einer Kenntniss der Werthe der 6 Elemente, welche dem Planeten zugehören, gelangt sei. Hieraus kann man den Ort am Himmel, d. h. die Geradeaufsteigung und Abweichung berechnen, wohin die angenommene besondere Theorie des Planeten ihn zu jeder seiner Beobachtungszeiten versetzt; man kann diesen Ort

mit dem wirklich beobachteten vergleichen, und also das Verhalten jener Theorie zu jeder einzelnen Beobachtung der ganzen Reihe prüfen. Findet sich dadurch nie ein Unterschied, welcher nicht in den Grenzen der möglichen Unvollkommenheit der Beobachtung läge, so ist nichts weiter zu wünschen: die Richtigkeit der angenommenen Theorie des Planeten, wird durch alle Thatsachen, wodurch man sie prüfen kann, bestätigt und die Astronomie findet ihre Forderungen, insofern sie sich auf diesen Planeten beziehen, durch den Besitz der solchergestalt bestätigten Theorie befriedigt. — Allein wenn sich Unterschiede zwischen der, der Rechnung zum Grunde gelegten besonderen Theorie des Planeten und den Beobachtungen finden, welche nicht mehr durch Unvollkommenheiten der letzteren erklärt werden können, so tritt die Unvollkommenheit der ersteren hervor, und muss nun den Versuch zur Folge haben, diese durch eine Berichtigung der Werthe der 6 Elemente wegzuschaffen. Wenn der Planet sich wirklich nach den Kepler'schen Gesetzen bewegt, se muss man jedesmal dahin gelangen können, seine Elemente so zu bestimmen, dass allen seinen Beobachtungen dadurch entsprochen wird; denn dann wird dadurch nicht mehr gefordert, als die Absonderung des einen, den Beobachtungen zugehörigen Falles, von allen übrigen, gleichfalls den Kepler'schen Gesetzen entsprechenden Fällen. — Was ich hier, um es näher verfolgen zu können, auf die den Kepler'schen Gesetzen gemässe allgemeine Theorie bezogen habe, kann aber offenbar ausgedehnter ver-

standen werden: immer wenn die allgemeine Theorie der Planetenbewegung, von welcher Beschaffenheit sie auch sein möge, bekannt ist, führt ein gerader Weg von den Beobachtungen eines Planeten zu der Kenntniss der Werthe der Elemente derselben, welche ihm im Besonderen angehören.

Es ist nun wesentlich, dass wir auch das Verhalten einer unrichtigen, oder unvollständigen allgemeinen Theorie, zu den Beobachtungen eines Planeten, ins Auge fassen. Offenbar kann der Versuch nicht gelingen, eine solche Theorie, durch irgend eine Annahme der Werthe ihrer Elemente, einer Beobachtungsreihe anzupassen, welche zahlreich genug und lange genug fortgesetzt ist, um sie als eine vollständige Entwickelung der wahren Bewegung eines Planeten ansehen zu können; denn sein Gelingen würde die Gleichheit zweier Gesetze, deren eins durch die Beobachtungen richtig, das andere durch die allgemeine Theorie, der Annahme gemäss, unrichtig, ausgesprochen ist, also die Vereinigung sich widersprechender Gesetze, fordern. In dieser Unmöglichkeit, eine allgemeine Theorie in eine besondere, den Beobachtungen entsprechende zu verwandeln, zeigt sich also die Unrichtigkeit oder Unvollständigkeit der ersteren. Die Beobachtungen verrathen diese durch das Zeugniss, welches sie gegen sie ablegen; sie führen nicht zu der Berichtigung des Fehlers der allgemeinen Theorie, sondern sie beschränken sich, Widerspruch dagegen zu erheben, so lange Grund dazu vorhanden ist. Dieses ist die Natur

des Verhaltens aller Beobachtungen, nicht allein astronomischer, zu den Gesetzen, deren Wirkung sich in ihnen an den Tag legt. Hierdurch geben die Beobachtungen Anlass, fehlerhafte oder unvollständige allgemeine Theorien, zu berichtigen, oder statt ihrer eine richtige zu wählen. Von dieser führen sie, wie ich schon gezeigt habe, direct zur Kenntniss der besonderen Theorie jedes Falles, und immer wenn es möglich ist, eine solche zu finden, welche einer vollständigen Beobachtungsreihe entspricht, erfüllt sie nicht nur die Forderung der Astronomie, sondern bestätigt auch zugleich die Richtigkeit der allgemeinen Theorie, wovon sie ein Fall ist. — Auf diese Art haben die astronomischen Beobachtungen wirklich nach und nach zur Kenntniss der Bewegungsgesetze der Himmelskörper geführt, welche wir gegenwärtig besitzen. Ich führe, um an den Gang ihrer Entwickelung zu erinnern, an, dass die ersten astronomischen Theorien der Planetenbewegung eine Reihenfolge unrichtiger waren, welche nach und nach vor dem Widerspruche verschwanden, welchen die Beobachtungen gegen sie erhoben; dass es darauf dem Scharfsinne Keplers gelang, sie durch eine richtige Theorie zu ersetzen, welche so lange auch als vollständig erschien, bis die Beobachtungen neuen, obgleich sich in viel kleineren Quantitäten als früher äussernden, Widerspruch erhoben; dass dann Newton das allgemeine Princip der Bewegungen in der gegenseitigen Anziehung der Himmelskörper entdeckte und dadurch den Weg zur Vervollständigung der

Kepler'schen Theorie eröffnete, wodurch der Widerspruch der Beobachtungen, während langer Zeit zum Schweigen gebracht wurde; dass endlich dieser gegenwärtig wieder seine Stimme erhebt, und dadurch bevorstehende neue Entdeckungen in Aussicht bringt.

Die Darstellung der Verbindungsart der Beobachtungen mit der Astronomie, welche ich eben versucht habe, wird ihre Umrisse ziemlich getreu darstellen; allein ich bin weit entfernt, diese für so bezeichnend zu halten, dass ich erwartete, ihren Gegenstand dadurch anschaulich werden zu sehen. Keinen Augenblick zweifelhaft, dass meine heutige Verpflichtung gegen Sie, verehrte Zuhörer, fordert, dass ich Sie nicht mit allgemeinen Begriffen abfinde (welche vor der Kenntniss einer Sache unverständlich, nach derselben aber unnütz sind) eile ich daher zu dem Versuche, unsern Gegenstand weiter zu enthüllen. Ich muss Ihnen zuerst die vorhandenen Beobachtungsreihen der älteren Planeten darzustellen suchen; denn die Beschaffenheit dieser Grundlage aller Untersuchungen über das Sonnensystem hat den grössten Einfluss auf Art und Form derselben. Von Venus, Mars, Jupiter und Saturn besitzen wir, von jedem eine, zwischen 271 und 228 Jahren vor unserer Zeitrechnung gemachte Beobachtungen; sie stammen aus Alexandrien, aus dem Pallaste des wissenschaftlichen Ptolomäus Philadelphus und sind im Almageste auf uns gekommen. Nach einer Zwischenzeit von etwa 400 Jahren, zwischen 125 und 141 unserer

Zeitrechnung, finden wir (nicht mehr ganz vereinzelt) Beobachtungen des Claudius Ptolomäus, des Verfassers des Almagests, dessen Name zwar an die aegyptischen Könige erinnert, der aber kein Nachkomme von ihnen gewesen zu sein scheint. Rom bietet nichts dieser Art dar. Die Jahrbücher von China enthalten häufige, auch viel weiter als die alexandrinischen Beobachtungen zurückführende Nachrichten über die Stellungen der Planeten, welche aber selten von der Beschaffenheit sind, dass sie astronomischer Anwendung genügen könnten. — Bald nachdem die Araber die römischen Fesseln gesprengt hatten, gelangte die Astronomie unter ihnen zu hoher Blüthe. Der Kalif Almamon unterstützte sie nicht allein, sondern bereicherte sie selbst mit Beobachtungen, welche wir noch besitzen. Von dem Anfange des neunten Jahrhunderts, der Zeit Almamons, bis in das funfzehnte, trug die Saat, die er gestreut hatte, ihre Früchte. Während fast dieses ganzen Zeitraumes, während des goldenen Zeitraumes der Klöster, lag auf Europa dichte Finsterniss der Unwissenheit. Der erste namhafte Astronom, der daraus hervortauchte, war der im J. 1436 geborene Johann Müller, von seinem Geburtsorte Königsbergen in Franken Regiomontanus genannt, derselbe dem die Ehre gebührt, zum ersten Male einen Kometen ordentlich beobachtet zu haben, der es aber hierbei nicht bewenden liess, sondern viele, verhältnissmässig zu seiner Zeit vortreffliche Beobachtungen lieferte. 36 Jahre später wurde Copernicus geboren; seine Erklärung des

Weltsystems konnte nur neues Leben über die Astronomie verbreiten. Wilhelm IV. von Hessen, einem Fürsten, auch unter den Astronomen, war, bald nachher, die Ehre vorbehalten, die erste Sternwarte in Europa zu bauen, sie mit den vollkommensten Instrumenten zu bereichern, welche die Zeit hervorzubringen vermogte, und durch sie und eigene, von seinem Astronomen Rothmann unterstützte Kräfte, von 1561 bis 1592, die Bewegungen am Himmel zu beobachten. Nur 14 Jahre nach ihm, im J. 1546, wurde den Astronomen ein König geboren: Tycho de Brahe — König nenne ich ihn, Wilhelm IV. nur Fürst, nicht etwa, weil ich für entschieden hielte, dass seine Leistungen in der beobachtenden Astronomie, und nicht die des Landgrafen, den eigentlichen Anfang ihrer neuen Periode bezeichneten, sondern weil er ein grösseres Gebiet der Astronomie, sogar ihr ganzes damals zugängliches, beherrschte. Diese Periode schliesst sich, nach mehr als hundertjähriger Dauer, mit dem Tode Hevels, im Jahre 1687. Die nun folgende eröffnete Johannes Flamsteed durch Anwendung neuer, vergrösserte Erfolge verheissender und gewährender Hülfsmittel; sie geht bis zum Jahre 1750, wo Bradley die Greenwicher Sternwarte betrat und dadurch eine neue Periode eröffnete, in welcher wir uns noch befinden.

Ich wollte Ihnen die Beobachtungsreihe eines Planeten, so wie sie vorhanden ist, darstellen, und habe eben nicht sowohl davon, als von geschichtlichen Daten gesprochen. Diese mögen mit den Ueberschriften

der Säle verglichen werden, in welchen die Werke der einzelnen Schulen der Malerei, welche eine reiche Sammlung enthält, gesondert sind. Von dem Wesen und dem Werthe der Werke dieser Schulen erhält man dadurch keine Vorstellung; man erhält sie auch dann nicht, wenn man in jeden der Säle flüchtige Blicke wirft; Theilnahme erzeugt sich erst aus der Einsicht, nicht eher aus der Uebersicht, als bis diese aus der Einsicht hervorgegangen ist. — Dieser, zu meinem heutigen Gegenstande vollkommen passende Vergleich, kann Ihnen, verehrte Zuhörer, nicht zweifelhaft lassen, dass ich, in der vollkommenen Unmöglichkeit, in einer einzigen Stunde etwas hervorzubringen, welches mit Einsicht in das Fortschreiten der Beobachtungskunst und seinen Einfluss auf die Astronomie, auch nur entfernte Aehnlichkeit besässe, nicht grossen Muth fühlen kann, meinen hoffnungslosen Weg fortzusetzen. Doch es sei! — vielleicht gelingt es mir, die Art von Eindruck zu hinterlassen, welche Jeder aus der Bildergallerie mitnimmt, der sie in einer Stunde durchläuft.

In der ersten Periode der Astronomie, also von den alexandrinischen Astronomen bis zu Tycho de Brahe, sehen wir das Bestreben der Beobachter dahin gerichtet, das was sie über den Ort eines Gestirns wissen wollten, nämlich seine Abweichung und den Unterschied seiner Geradenaufsteigung von der eines anderen Sterns, durch instrumentale Nachahmung der täglichen Bewegung des Himmels, beziehungsweise auf den Horizont ihres Ortes, unmittelbar zu erkennen.

Sie wandten also ein Instrument an, welches die Kreise der Himmelskugel materiell darstellte, die sogenannte Armillarsphäre; welches einen Zeiger trug, den sie nach dem zu beobachtenden Sterne richteten, und dessen Richtung dann durch jene Kreise angegeben wurde. Allein die tägliche Bewegung eines Sternes ist eine weit zusammengesetztere Erscheinung als die tägliche Drehung der Himmelskugel um ihre Axe, welche durch die Armillarsphäre dargestellt wird; denn sie ist nicht die reine Folge von dieser, sondern durch die Erhöhung modificirt, welche der Stern durch die Strahlenbrechung erfährt; auch ist die jedesmalige Berichtigung des Instruments schwierig und zeitraubend. Die Anwendung der Armillarsphäre empfahl sich durch ihre Einfachheit nur so lange, als man beides nicht berücksichtigte; wie es wirklich, zu der Zeit wovon ich rede, weder geschah, noch ein Interesse hatte, indem die Beobachtungen, auch bei Vernachlässigung aller kleineren Einflüsse, die höchst bescheidenen Forderungen der damaligen Theorien leicht zu befriedigen vermochten. Die Folge hiervon aber ist, dass die vor-tychonischen Beobachtungen nur sehr rohe Annäherungen sind.

Auf den Sternwarten der Tychonischen Periode sehen wir den Werth der Genauigkeit der Beobachtungen schon so anerkannt, dass man ihr die Leichtigkeit der Verfahrungsarten gern zum Opfer brachte; dass man selbst eine trigonometrische Rechnung nicht scheuete, wenn sie sich zwischen eine vortheilhafte Beobachtungsart und ihr Resultat stellte.

Wir vermissen nun die Armillarsphäre, oder sehen sie wenigstens nicht mehr an dem Ehrenplatze, welcher einem im Meridiane aufgestellten grossen Quadranten, und einem ähnlichen Instrumente eingeräumt ist, dessen Aufstellungsart so eingerichtet ist, dass es in beliebige Lagen gegen den Horizont gebracht, und zu der Messung der Entfernung jedes Sternenpaars voneinander, angewandt werden kann. Durch das erstere Instrument, welches die Entfernungen der Gestirne von dem Scheitelpunkte angiebt, werden ihre Abweichungen bestimmt; kennt man diese für zwei Gestirne, deren Entfernung mit dem zweiten Jnstrumente gemessen ist, so kennt man damit die drei Seiten eines Kugeldreiecks und kann daraus den der gemessenen Seite gegenüberstehenden Winkel berechnen, welcher der durch die Beobachtungen zu bestimmende Unterschied der Geradenaufsteigungen beider Sterne ist. — Diese neue Anordnungsart der Beobachtungen lieferte viel genauere Resultate als die frühere. Sie war wirklich aus der Verfolgung der Absicht, diese herbeizuführen, hervorgegangen, welche Absicht durch Alles, was ihr Erfolg versprach, auch durch bedeutende Vergrösserung der Instrumente und Nachdenken über die vortheilhafteste Einrichtung ihrer einzelnen Theile, nach besten Kräften unterstützt wurde.

Die Sternwarten der Flamsteed'schen Periode zeigen uns die Einführung eines neuen Principes in die Beobachtungskunst: sie zeigen uns die sich um ihre Axe drehende Erde selbst, als astro-

nomisches Instrument benutzt! — die unveränderliche Drehungsgeschwindigkeit derselben wird als Mittel angewandt, den Winkel am Pole zwischen zwei Gestirnen, oder den Unterschied ihrer Geradenaufsteigungen, zu messen. Indem nämlich die Zwischenzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen jedes Fixsterns durch den Meridian, ein Sterntag genannt und durch den Gang einer Uhr in seine Stunden, Minuten und Secunden getheilt wird, drehet sich, während diese Uhr um 24 Stunden fortrückt, der ganze Umfang des Aequators, von 360°, durch den Meridian, und in jeder Stunde der 24ste Theil, oder 15° davon, in jeder Minute der 60ste Theil von 15°, oder 15 Minuten, in jeder Secunde 15 Secunden. Bemerkt man also an der Uhr, die Anzahl von Stunden, Minuten und Secunden, welche zwischen den Durchgängen zweier Sterne durch den Meridian verfliessen, so erlangt man dadurch unmittelbar die Kenntniss des Bogens des Aequators der Himmelskugel, welcher in derselben Zeit durch den Meridian gegangen ist, oder, was damit gleich gültig ist, die Kenntniss des Unterschiedes ihrer Geradenaufsteigungen. — Durch die Einführung dieser Beobachtungsart ist also die Uhr ein Messinstrument der Sternwarten geworden; von ihr unterstützt ist ein einziges, zur Messung der Entfernungen der Sterne von dem Scheitelpunkte eingerichtetes und so aufgestelltes Instrument, dass seine Absehenslinie, bei ihrer Bewegung den Meridian der Himmelskugel beschreibt, hinreichend, sowohl die Abweichungen, als auch die Unterschiede der Geradenauf-

steigungen der Sterne zu bestimmen. Flamsteed's Bestreben war auf eine grosse Vermehrung der Genauigkeit der früheren, durch die Tychonischen Hülfsmittel und Methoden erlangte Beobachtungen gerichtet. Sein Erfolg musste abhängig sein von der Regelmässigkeit des Ganges seiner Uhr und von der Genauigkeit des im Meridiane aufgestellten Instruments; er wandte also eigenes Nachdenken auf die Vervollkommnung beider, und benutzte die Einsichten und die Kunstfertigkeit Anderer, so wie auch die schon gemachte Erfindung der Anbringung des Fernrohrs auf den Messinstrumenten, und konnte sich in der That eines solchen Gelingens erfreuen, dass seine Beobachtungen die Tychonischen eben so weit überragten, als diese die Ptolomäischen überragt hatten. Das Princip der Flamsteed'schen Beobachtungen, nämlich die Anwendung der Drehungsbewegung der Erde selbst, hat der Astronomie unschätzbare Früchte geliefert und wird nie aufhören sie ihr zu liefern.

Dieses Princip regiert also auch auf den Sternwarten, der mit Bradley anfangenden Periode; nur durch viel weiter getriebene Kunst in der Ausführung und Anwendung ihrer Hülfsmittel unterscheiden diese Sternwarten sich von ihren Vorgängerinnen. — Mit so schnellen Schritten wir uns auch vor allen Einzelnheiten vorüberbewegen müssen, um nicht unser heutiges Ziel unerreicht zu lassen, so müssen wir doch ein Paar Augenblicke verweilen, um Bradley's Sternwarte einigermassen kennen zu lernen. Sie wissen, hochgeehrte Zuhörer, dass die Entdeckungen

der Aberration und Nutation vorangehen mussten, ehe die Genauigkeit der Beobachtungen Reiz für die Astronomen und Nutzen für die Astronomie erhalten konnte. Als Bradley im J. 1750 die Sternwarte in Greenwich betrat, waren ihm diese Entdeckungen schon gelungen, und damit war ihm nicht mehr zweifelhaft, dass fernere Beobachtungen, entweder eine bis auf eine oder ein Paar Secunden gehende Sicherheit besitzen mussten, oder kein Interesse gewähren konnten. Die Entwickelung der Newton'schen Theorie war nun schon so weit fortgeschritten, dass die Astronomie Dienste von ihren Sternwarten fordern musste; und Bradley war der Mann, der diese Forderung begriff, und daher die neu zu organisirende Sternwarte nicht mit zierlichem, glänzend polirten Spielzeuge, sondern mit Instrumenten füllen wollte, welche, allenthalben wo sie befragt wurden, unwidersprechliche Entscheidungen geben sollten. Wir sehen zuerst eine Pendeluhr, welche das was sie darstellen soll, nämlich die Axendrehung der Erde, so genau trifft, dass die Kleinheit ihrer Abweichungen davon sie fast der Wahrnehmung entzieht. Wir sehen ferner einen prachtvoll gebaueten und eingetheilten Mauerquadranten von 8 Fuss Halbmesser, an einer mächtigen Steinmasse im Meridiane befestigt. Zu seiner Unterstützung sehen wir denselben Zenithsector aufgestellt, der, durch die Herbeiführung der Entdeckungen der Aberration und Nutation, schon grosse Thaten gethan hatte und der nun angewandt wird, um von den unmittelbaren Angaben des Quadranten zu den

Entfernungen der Sterne vom Scheitelpunkte, welche man eigentlich verlangt, zu führen. Wir sehen endlich ein Instrument, welches schon Olaus Römer angewandt und Mittagsfernrohr genannt hatte; ein Fernrohr von 8 Fuss Länge, um eine wagerechte, von Osten nach Westen gehende Axe drehbar, deren beide Enden in Lagern ruhen, welche an zwei starken Steinpfeilern befestigt sind. Dieses Instrument ist mit einer Sorgfalt und einem Aufwande von Kunst gebauet, welche nicht zurückstehen gegen die sich an dem Mauerquadranten zeigenden; es besitzt alle Erfordernisse, wodurch hervorgebracht werden kann, dass seine Absehenslinie, bei seiner Drehung um die Axe, nirgend aus dem Meridiane ausweicht. Es dient also augenscheinlich zur Beobachtung der Zeiten der Durchgänge der Sterne durch den Meridian; und wenn Bradley es dem, auch im Meridiane aufgestellten Mauerquadranten zugesellt hat, durch welchen Flamsteed sowohl die Entfernungen der Sterne vom Scheitelpunkte, als auch die Zeiten ihrer Durchgänge beobachtete, so kann seine Absicht keine andere gewesen sein, als die letzteren durch ein besonders dazu eingerichtetes Instrument mit ungleich grösserer Sicherheit zu erhalten. — Dieses ist Bradley's Sternwarte, und diese Sternwarte regierte der, der sie möglich gemacht hatte, nicht um mit ihr ein fruchtloses Spiel zu treiben, sondern um sie dem ernsten Dienste der Astronomie zu weihen. Die Folgen dieser Verbindung muss Jeder, ohne dass ich sie namhaft mache, ermessen können!

Bradley starb 1762, aber bis 1810, also noch 48 Jahre lang, blieb Alles auf der Greenwicher Sternwarte wie er es hinterlassen hatte. Während Bradley's Zeit sehen wir, an anderen Orten, das kurze Hervortreten der Göttinger Sternwarte unter Tobias Mayer, dessen früher Tod sie, bis auf die Mauern und die Instrumente, wieder vernichtete; ferner die nicht minder kundigen Bemühungen Lacailles. In den 48 Jahren nach Bradley's Tode zeigen sich die Sternwarte der Pariser Kriegsschule und die in Palermo, aber sie liefern nicht sowohl Beiträge zur Kenntniss des Planetenlaufes, als Beobachtungen von Fixsternen; die Sternwarte des Herzogs Ernst von Gotha, auf dem Seeberge, erregt Erwartungen ohne sie zu erfüllen; was etwa an anderen Orten geschehen soll, bleibt erfolgloses, meistens nicht einmal erfreuliches Spiel. Kurz, von 1762 bis 1810 erkennt die Astronomie des Sonnensystems nur eine Quelle an, die in Greenwich, aber nicht mehr eine so klar und reichlich als zu Bradley's Zeit, fliessende. — Die dann folgenden 30 Jahre bis jetzt, zeigen uns ein vielseitiges, aufopferndes Bestreben, die Anzahl der Sternwarten zu vermehren; auch Künstler zeigen sie uns, welchen Scharfsinn und Kenntnisse zu Gebote stehen, die sie zur Ausrüstung der vielen neuen, oder neueingerichteten Sternwarten verwenden. Vermehrte Kunst in der Eintheilung der Instrumente bringt hervor, dass diese jetzt eines so grossen Halbmessers nicht mehr bedürfen, als am Anfange der Periode, ohne dadurch an Genauigkeit zu verlieren; jetzt kann, statt des

Quadranten von 8 Fuss Halbmesser, ein Instrument von 1½ oder 2 Fuss Halbmesser angewandt werden, und hieraus geht der Vortheil hervor, dass ganze Kreise, statt jener Viertel davon, gebauet werden können. Nur diese sieht man jetzt auf den Sternwarten und sie vereinigen wieder die beiden, von Bradley getrennten Zwecke, indem sie die Beobachtung der Entfernung eines Sterns vom Scheitelpunkte und die Beobachtung seiner Durchgangszeit durch den Meridian, zugleich ergeben. Diese Vereinigung bringt grosse Vortheile hervor, bei deren näherer Erläuterung ich jedoch hier nicht verweilen darf. — Indessen hat sich in die jetzige Astronomie etwas Neues eingeführt, was ich nicht schweigend übergehen darf. Da Alles was Menschenhände machen können unvollkommen ist; die geschärftesten Sinne also ihre Grenze haben, und nie mehr erlangt werden kann als die Verengung derselben, so können auch alle Instrumente nur Annäherungen an die mathematische Idee, welcher gemäss sie gemacht worden sind, gewähren. Der, der sie anwendet, erlangt, seine Kunst und sein Fleiss mögen so weit getrieben werden wie man will, immer nicht mehr als ein Resultat, welches richtig ist, wenn die mathematische Idee seines Hülfsmittels wirklich erfüllt ist. Dieses kann, wie ich eben schon bemerkt habe, nie der Fall werden; der Astronom kann aber weder Freude an seinen Resultaten haben, noch Nutzen davon erwarten, wenn er keine Mittel besitzt, sie von dem wenn zu befreien. Aus dieser Ansicht der Sache ist die Aufsuchung

solcher Mittel hervorgegangen, und man ist wirklich dahin gelangt, sämmtliche Forderungen, welche ein Instrument erfüllen soll, solchen Prüfungen zu unterwerfen, dass die Unvollkommenheit ihrer wirklichen Erfüllung so daraus hervorgeht, dass man die unmittelbare Angabe des Instruments von ihr befreien kann, also das Resultat so erhält als wäre das Instrument ein vollkommenes. Hierdurch wird jedes vorhandene Instrument gänzlich aus dem Resultate geschafft; seine Genauigkeit ist nicht mehr Bedingung des Erfolges; in ihre Stelle tritt die Forderung der Festigkeit des Instruments, welche zur Folge haben soll, dass die Resultate seiner Untersuchung, welche man einmal erlangt hat, unverändert bestehen. Jedes Instrument wird auf diese Art zweimal gemacht, einmal in der Werkstatt des Künstlers von Messing und Stahl; zum zweitenmale aber von dem Astronomen auf seinem Papiere, durch die Register der nöthigen Verbesserungen, welche er durch seine Untersuchung erlangt. — Will man, in der heutigen beobachtenden Astronomie, einen wesentlichen Unterschied von der Bradley'chen sehen, so muss es dieser sein; den Ersatz des Quadranten und des Mittagsfernrohrs durch ein Instrument, den Meridiankreis, erkenne ich zwar auch für eine willkommene Verbesserung, aber sie betrifft mehr das Einzelne.

Wir haben unser eiliges Durchlaufen der Sternwarten der verschiedenen Zeiten jetzt beendigt; unsere flüchtigen Blicke haben wir nur auf das geworfen, was mit ihrem Hauptzweck in unmittelbarer Verbindung

steht. Wir finden aber auch noch viel Anderes auf den Sternwarten; auf den neueren vielen Hülfs-Apparat, welcher jenen Zweck auf die eine oder andere Art unterstützt; auch Instrumente, welche besonderer Beobachtungsgegenstände wegen verfertigt worden sind, dergleichen das, im vorigen Jahre, an diesem Orte besprochene Heliometer der hiesigen Sternwarte ist. Auf älteren Sternwarten werden uns auch wohl Ueberbleibsel früherer Zeit gezeigt, welche vermehrter Einsicht und fortgeschrittener Kunst längst haben weichen müssen, dennoch aber vorzugsweise von dem Vorzeigenden durch Lüftung seines Käppchens begrüsst werden; anderes dient zur Erläuterung astronomischer Systeme; wieder anderes gehört noch weniger auf eine Sternwarte, indem es keinen anderen Zweck gehabt haben kann, als ein mystisches Halbdunkel über die ehrlichen Astronomen zu verbreiten. Die drei letzteren Artikel findet man auf der hiesigen Sternwarte nicht. Will man aber das Ansehen der astronomischen Apparate aller Zeiten kennen lernen, so muss man die 9 Etagen des zur Sternwarte eingerichteten Thurms auf dem ehemaligen Jesuiten-Collegio in Prag durchsteigen, wodurch man von der ältesten Zeit bis in die gegenwärtige gelangt, jedoch im neunten Himmel nicht so viel Bemerkenswerthes findet, als auf der Erde in Königsberg.

Was ich von der wachsenden Vervollkommnung der Sternwarten angeführt habe, beabsichtigt die Beschaffenheit der vorhandenen Beobachtungsreihen der Planeten in verschiedenen Zeiten anzudeuten. Aus

der vor-tychonischen Periode besitzen wir 2000 Jahre alte, aber sehr rohe Beobachtungen; die Tychonische liefert uns drittehalbhundert Jahre alte, schon beträchtlich verbesserte; die Flamsteedsche liefert uns noch genauere, 150 Jahre zurückgehende; seit Bradley's Anfange endlich sind 90 Jahre verflossen. Man würde aber irren, wenn man diese verschiedenen Perioden ganz von Beobachtungen ausgefüllt annehmen wollte. Von der ältesten ist es nicht zu erwarten, weil Rom und das Mittelalter in ihren Grenzen sind; nach Tycho de Brahe finden wir wohl die von ihm eingeführte Form, aber bis auf Hevel, welcher die Periode schloss, keine anhaltenden Beobachtungen mehr; Flamsteed steht in seiner Periode wieder ohne Nachfolger, obgleich darin ein vortrefflicher Astronom Edmund Halley blühete. Selbst die 90 Jahre der jetzigen Periode liefern nicht was sie liefern sollten. Ich habe schon angeführt, dass 48 Jahre lang, nach Bradley's Tode, die Sternwarte in Greenwich genau in dem Zustande blieb, in welchem er sie verlassen hatte. Während dieser ganzen Zeit war Maskelyne der Verwalter der reichen Erbschaft. Er hat sie ziemlich fleissig, immer mit Aufmerksamkeit und dem Wunsche, Alles recht genau zu machen, angewandt; auch liegen drei Folianten gedruckter Beobachtungen vor. — Das erscheint wie eine Verlängerung von Bradley's Leben um 48 Jahre! — aber es ist nichts weniger als diese; das Vorhandensein aller äusseren Erfordernisse liegt am Tage, aber Bradley's Geist war aus ihnen gewichen!

Maskelyne hat allerdings einen Zweck verfolgt, aber dieser war das Beobachten selbst, nicht die Astronomie, wozu es führen soll. Hätte er diese verfolgt, so würde er unfehlbar bemerkt haben, wo es seinen Beobachtungen gebrach, und dann hätte er ihren Schaden geheilt. So wie seine Beobachtungen sind, haben sie keine eigene, innere Haltbarkeit; man kann sie nur benutzen, wenn man gewisse Bestimmungen, welche sie selbst liefern sollten, für die Bradley-sche und für unsere jetzige Zeit, aus anderen Beobachtungen ableitet, und, von diesen ausgehend, die Resultate der Maskelyne'schen Beobachtungen sucht; selbst dadurch erlangen sie aber nicht vollen, sondern nur untergeordneten Werth. — Jede der Perioden der Astronomie zeigt also eine unverkennbare Gleichheit ihres Ganges: sie wird glänzend eröffnet, aber der Sinn ihres Begründers geht mit ihm verloren; er wird erst von einem Späteren verstanden, der Kraft und Mittel besitzt den Vorgänger zu verdunkeln. Dieses ist der Typus der Geschichte der Wissenschaften im Allgemeinen; die Astronomie hat keine besondere Ursache zur Klage.

Man muss sich also die vorhandene Beobachtungsreihe eines Planeten, nicht als ununterbrochen fortgehend vorstellen, sondern als aus mehreren, der Zeit nach voneinander getrennten Theilen bestehend. Diese Theile haben sehr verschiedene Werthe für die Astronomie, welche von der Genauigkeit der einzelnen in ihnen enthaltenen Beobachtungen und ihrer Anzahl abhängen. Im Allgemeinen schreiten sie in

beiden Beziehungen zugleich vorwärts; so wie die Genauigkeit der Hülfsmittel und die Vollendung der Methoden wachsen, sehen wir auch die Beobachtungen zahlreicher werden, obgleich man vielleicht das Gegentheil erwarten sollte, indem zu einer gleich guten Bestimmung offenbar eine grössere Zahl unvollkommener, als vollkommenerer Beobachtungen erfordert wird, also die älteren Astronomen durch die Zahl hätten ersetzen sollen, was der Genauigkeit gebrach. Aber diese scheinbare Inconsequenz ist leicht zu erklären: einerseits wachsen die Forderungen in demselben Masse, in welchem die Kräfte zu ihrer Befriedigung sich vermehren; andererseits regt grösserer Erfolg jederzeit zu grösserer Anstrengung auf. —

Indessen hängt der Werth, welchen eine Beobachtungsreihe besitzt, nicht allein von der Verbindung der Genauigkeit der dazu angewandten Hülfsmittel und Methoden, mit dem in ihrer Anwendung bewiesenen Fleisse ab, sondern eben so wesentlich von der Kenntniss gewisser, zu ihrer Berechnung erforderlicher Elemente, welche durch abgesonderte Untersuchungen erlangt werden muss. Es ist noch ein grosser Zwischenraum zwischen der Zeile des Tagebuches der Sternwarte, welche die sich auf einen Durchgang eines Planeten durch den Meridian beziehenden, von der Uhr und dem Meridiankreise abgelesenen Zahlen enthält, und seiner Geradenaufsteigung und Abweichung, welche das Resultat der Beobachtung sein sollen. Die Ausfüllung dieses Zwischenraumes ist das Ziel vielseitiger und ange-

strengter Bemühungen gewesen, und erst in der neueren Zeit ist es gelungen, sie so zu vollenden, dass sie, wenigstens für den jetzigen Zustand der Sache, genügt. Ich muss ein Paar Momente hervorheben, um die Entwickelung der Verbindung der Beobachtungen mit der Astronomie, nicht in einem wichtigen Theile zu unterbrechen. Es ist bekannt, dass alle Gestirne höher, oder dem Scheitelpunkte näher erscheinen, als sie wirklich sind; die strahlenbrechende Kraft unserer Atmosphäre erzeugt diese astronomische Strahlenbrechung, welche offenbar bekannt sein muss, ehe man von der Beobachtung eines Gestirns zur Kenntniss seiner Abweichung gelangen kann; denn diese Beobachtung betrifft unmittelbar das nicht an seinem wahren Orte erscheinende Gestirn. Man muss ihre allgemeine Theorie kennen, das Gesetz, nach welchem ihre Veränderung von dem Scheitelpunkte, wo sie verschwindet, bis zu dem Horizonte, wo sie einen halben Grad übersteigt, fortschreitet; dann muss man die in dieser Theorie enthaltenen willkürlichen Grössen, durch Beobachtungen, erkennen und bestimmen, und endlich muss man, aus der Verbindung beider, Regeln ableiten, wonach man die Grösse der Strahlenbrechung in jedem besonderen Falle, also für jede beobachtete Entfernung eines Sterns vom Scheitelpunkte und für den zur Zeit der Beobachtung stattfindenden Zustand der Luft, so wie die meteorologischen Instrumente ihn angeben, berechnen kann. Diese Regeln müssen das was sie geben sollen, mit grosser Genauigkeit geben, weil ein Fehler unmittelbar auf das Resultat der Beobachtung

übergeht und dieses um seine ganze Grösse entstellt. Wenn man diese Forderung aufmerksam betrachtet, so bemerkt man leicht, dass sie eben so schwer zu erfüllen, als leicht auszusprechen ist. Das Gesetz der Strahlenbrechung hängt wesentlich von dem Gesetze ab, nach welchem die Dichtigkeit der übereinanderliegenden Schichten der Luft sich ändert: von einem Gesetze, dessen Hervortreten wir nur in den niedrigeren, uns zugänglichen Schichten beobachten können und wovon wir überdies wissen, dass es Veränderungen erfahren muss, zu deren Erkenntniss uns die Mittel fehlen. Die aus der nicht zu beseitigenden Unvollkommenheit der Kenntniss der jedesmaligen Constitution der Atmosphäre hervorgehende wesentliche Schwierigkeit verbindet sich mit einer anderen, welche sich in der mathematischen Entwickelung der Theorie der Strahlenbrechung aus jeder Annahme des Gesetzes der Luftschichte zeigt; diese letztere würde ich, da sie, nach vielen vergeblichen Anstrengungen, am Anfange dieses Jahrhunderts, endlich überwunden ist, hier nicht erwähnen dürfen, wenn es nicht nöthig wäre, ein unerwartetes, dadurch erlangtes Resultat namhaft zu machen, welches wichtig ist, indem es über die erste, in der Natur selbst begründete Schwierigkeit glücklich hinweggeführt hat: es hat nämlich bewiesen werden können, dass, vom Scheitelpunkte bis zu einer Höhe von wenigen Graden über dem Horizonte, der Fortgang der Strahlenbrechung so gut wie unabhängig ist, von dem Gesetze der Aufeinanderfolge der Luftschichten; so dass sie, mit Ausnahme

eines kleinen Theils des Himmels, sich nur nach der Dichte der Luft richtet, welche die meteorologischen Instrumente an dem Beobachtungsorte angeben. Der Theil des Himmels, welcher hiervon ausgenommen ist, hat aber für die Astronomen geringe Bedeutung, indem in der Nähe des Horizonts die Gestirne so undeutlich erscheinen, dass ihre Beobachtung dort ohnehin vermieden werden muss. Da solchergestalt die allgemeine Theorie der Strahlenbrechung in Ordnung gebracht werden konnte, so konnte man auch zu ihrer besonderen übergehen, indem man zweckmässig angeordnete Beobachtungsreihen verfolgte, um dadurch zur Kenntniss der Werthe der in jener enthaltenen willkürlichen Grössen zu gelangen.

So wie die Strahlenbrechung zwischen die unmittelbare Beobachtung eines Gestirns und die Bestimmung seiner Abweichung tritt, so tritt auch Etwas, nicht minder wesentlich, zwischen die erstere und die Bestimmung seiner Geradenaufsteigung. Man muss sich erinnern, dass die Vergleichung der Durchgangszeiten zweier Gestirne durch den Meridian, nur den Unterschied ihrer Geradenaufsteigungen bestimmen kann, nicht die Geradeaufsteigung selbst; um diese für eins der beiden Gestirne zu erfahren, muss man sie, für das andere, durch eine besondere Untersuchung schon erkannt haben. Es ist also nothwendig, wenigstens von einem Sterne am Himmel, die Geradeaufsteigung selbst zu bestimmen; allein man hat, mit Recht, vorgezogen, sie statt von einem Sterne, von einer grösseren Anzahl, von 36 der helleren

Sterne, zugleich zu suchen. Diese 36 nennt man **Fundamentalsterne** und ihre Geradenaufsteigungen sind die, von welchen man, durch unmittelbare Beobachtung, zu denen aller übrigen Gestirne übergeht. — Indem die Geradeaufsteigung eines Sterns der Winkel am Pole der Himmelskugel, zwischen ihm und dem Frühlingsnachtgleichenpunkte ist, so setzt ihre Bestimmung die Kenntniss des letzteren voraus, des Punktes also, wo die Bewegungslinie der Sonne am Himmel, den Aequator durchschneidet. Da er nicht **physisch**, sondern nur durch **diese Erklärung** vorhanden ist, so leuchtet ein, dass er nur durch eine fortgesetzte Verfolgung der Sonne durch Beobachtungen erkannt werden kann; deren **letztes** Resultat in den Geradenaufsteigungen der Fundamentalsterne hervortritt.

Diese Geradenaufsteigungen sind also die unumgängliche Grundlage aller übrigen, durch astronomische Beobachtungen zu bestimmenden; so wie die Kenntniss der Strahlenbrechung die unumgängliche Grundlage aller Abweichungen ist. Nicht allein die Untersuchung beider stellt sich zwischen die Beobachtungen selbst und die daraus hervorgehenden Oerter der Gestirne; sondern noch einiges Andere tritt dazwischen; aber ich darf hier nicht länger verweilen, sondern es muss mir genügen, gezeigt zu haben, dass die Beobachtung eines Gestirns, so wie sie von den Instrumenten abgelesen wird, keinesweges das ist, was man über den Ort des Gestirns zu wissen verlangt, sondern nur das rohe Material dazu, welches

erst durch vielfältige Bearbeitung anwendbar gemacht werden kann. Auch hierüber würde ich schweigend hinweggegangen sein, wenn es mir nicht nothwendig gewesen wäre, klar zu machen, dass die Bestimmung des Ortes eines Gestirns durch seine Beobachtung, zwei ganz voneinander getrennte Theile besitzt, nämlich die Beobachtung selbst, und ferner die Bestimmung der Strahlenbrechung, der Geradenaufsteigungen der Fundamentalsterne u. s. w., welchen zweiten Theil man in der Benennung Fundamente der Astronomie zusammenfasst. Es geht daraus hervor, dass die Genauigkeit der Beobachtungen, für sich selbst, erst wenn sie mit einer entsprechenden Genauigkeit der Bestimmung dieser Fundamente zusammentrifft, die genügende Auflösung der Aufgabe „den Ort eines Gestirns am Himmel zu bestimmen" ergeben kann. Hätte man z. B. eine Reihe sehr genauer Beobachtungen, aber eine mangelhafte Kenntniss der Fundamente, so würde das Zeugniss, welches sie ablegen, hierdurch wesentlich geschwächt werden.

Diesen Gesichtspunkt für die Beurtheilung des jetzigen Werthes der Beobachtungen aller Zeiten, wollte und musste ich erreichen. Dass er der richtige ist, glaube ich überzeugend dargethan zu haben; dennoch muss ich eingestehen, dass die Astronomen ihn nicht immer sorgfältig genug gehalten haben; dass man viele beträchtliche Arbeiten antrifft, welche auf Beobachtungen gegründet worden sind, ohne dass man sich um die gleich nothwendigen Fundamente der Astronomie gekümmert, und mehr gethan hätte, als

sie geradezu so anzunehmen, wie sie aus älteren Untersuchungen hervorgegangen waren. Die Folge hiervon konnte keine andere sein, als ein Gebäude, welches der Haltbarkeit entbehrte. — Wollte man ihm Dauer geben, so musste man nicht Arbeit verschwenden, um einzelne Risse auszubessern, sondern man musste sich nicht scheuen, bis zu seiner Grundlage selbst zurückzugehen.

Eine im Jahre 1818 beendigte vollständige Untersuchung der Beobachtungsreihe Bradley's gewährte die genügende Festsetzung der Fundamente der Astronomie, wie sie im Jahre 1755 waren. Die hiesigen Beobachtungen wurden so angeordnet, dass sie dieselbe Festsetzung für das Jahr 1825 ergeben konnten. Durch diese Resultate beider Beobachtungsreihen zusammengenommen, erlangte man die Kenntniss der Veränderungen, welche diese Fundamente im Verlaufe der Zeit erfahren; und darauf gründete man Berechnungen, welche von Bradley's Zeit, von 1750 an, bis zum Jahre 1850, alles das in der zur häufigen Anwendung geeigneten Form angeben, was zu der Verwandelung der in dieser Zeit gemachten Beobachtungen in Geradeaufsteigungen und Abweichungen erforderlich ist. — Nach diesen Vorbereitungen und erst nach ihnen, kann man dahin gelangen, die seit 1750 gemachten Planetenbeobachtungen, zu ihren wahren Resultaten zu verarbeiten, um ihre, in der ursprünglichen Gestalt unübersehbare, grosse Masse in eine weit kleinere Anzahl von Hauptmomenten zusammenzuziehen, welche fortan jene unübersehbare

Masse vertreten und die einzige Quelle sein müssen, woraus die Astronomie, insofern sie die Kenntniss der Bewegungen der Planeten von 1750 bis jetzt verlangt, zu schöpfen hat.

Wir wollen nun die Beobachtungen dieser Periode zuerst als allein vorhanden annehmen, zu den früheren aber später zurückkehren. Wir wollen sie in die eben angedeutete, die leichteste und dennoch vollständige Uebersicht über sie gewährende Form gebracht, also etwa für jedes Jahr eine Bestimmung der Geradenaufsteigung und Abweichung eines Planeten aus seinen sämmtlichen Beobachtungen dieses Jahres abgeleitet, annehmen. Hierdurch besitzt man 60 bis 90 von dem Himmel selbst hergenommene Oerter jedes Planeten; und dieser Besitz ist das Vermögen der Astronomie, wovon sie nun Anwendung zu machen hat.

Will man, nachdem man diesen Besitz erlangt hat, untersuchen, in wiefern eine vorhandene Theorie des Planeten, seiner wirklichen Bewegung entspricht, so geschieht dieses dadurch, dass man aus ihr seine Oerter, für dieselben Zeitmomente, für welche die aus den Beobachtungen abgeleiteten gelten, berechnet und sie mit diesen vergleicht. Giebt diese Vergleichung in keinem einzigen Falle einen so grossen Unterschied, dass man ihn nicht den kleinen, unvermeidlichen Unvollkommenheiten der Beobachtungen selbst zuschreiben könnte, so beweisen diese offenbar nichts gegen die Richtigkeit der vorhandenen Theorie, welche demnach den Forderungen der Astronomie für jetzt genügt, und erst in späterer Zeit weiter verfeinert werden

kann, wenn die Fortsetzung der Bewegung Unterschiede zwischen ihr und der Beobachtung entstehen lassen wird. — Zeigt dagegen die Vergleichung der seit 1750 beobachteten Oerter des Planeten, mit den aus der vorhandenen Theorie berechneten, Unterschiede, welche grösser sind als die möglichen Unvollkommenheiten der ersteren, so geht daraus offenbar hervor, dass die letztere noch ungenügend ist: dann tritt also die Forderung hervor, sie zu verbessern. — Ich habe, am Anfange meiner Vorlesung, darzustellen versucht, dass der Uebergang von einer bekannten und vollständigen allgemeinen Theorie der Bewegung der Planeten, zu der besonderen eines jeden von ihnen, ein directer ist; demzufolge beginnt die Verbesserung einer, sich durch ihre vorgenommene Vergleichung mit den Beobachtungen als unvollkommen erweisenden Theorie, mit dem Versuche, die Elemente, durch deren bestimmte Annahme die allgemeine zu der besonderen geworden ist, so zu änderen, dass dadurch den aus den Beobachtungen gefolgerten Oertern des Planeten Genüge geleistet wird. Gelingt dieser Versuch, so ist damit nicht allein die Forderung der Astronomie befriedigt, indem die Bewegung des Planeten nun allen vorhandenen Thatsachen angemessen wird, sondern es wird auch dadurch klar, dass die zum Grunde gelegte allgemeine Theorie von diesen Thatsachen keinen Widerspruch erfährt. Gelingt er aber nicht, endigt er sich also mit der Ueberzeugung, dass kein Werth der Elemente die Theorie zur Uebereinstimmung mit den Beobachtungen bringen

kann, so wird dadurch ein entscheidendes Veto gegen die allgemeine Theorie ausgesprochen.

Nun hat ein grosser Meister, an mehreren Stellen seiner unsterblichen Werke gesagt, dass die Newtonsche Anziehung, wenn ihre Folgen nur mit der gehörigen Vollständigkeit entwickelt werden, allen Beobachtungen der Planeten völlig entspreche; oder, mit anderen Worten, dass die darauf gebauete allgemeine Theorie dieser Körper, in die besondere eines jeden von ihnen verwandelt werden könne, so dass diese nichts mehr zu wünschen übrig lasse. Dieser grosse Meister war Laplace, und nicht etwa war seine Aeusserung ein Nachklang der allgemeinen Ansicht, sondern sie war aus seinen eigenen Arbeiten hervorgegangen, welche, ihrem bei weitem grössten Theile nach, jene Entwickelung zum Zwecke hatten, und durch ihre häufigen Erfolge in der Aufklärung der allerverstecktesten und vorher räthselhaftesten Eigenthümlichkeiten der Bewegungen im Sonnensysteme, die Erwartung rechtfertigten, dass Alles sich der stets siegreichen Lehre von der Anziehung fügen werde. Wirklich sind die Bestätigungen, welche diese Lehre, nicht allein in der Art der Bewegung der Himmelskörper im Ganzen, also in den aus den Beobachtungen gefolgerten Kepler'schen Gesetzen, sondern auch in zahllosen secundären Erscheinungen erhalten hat, nach und nach so vollständig geworden, dass jeder bisher dagegen geäusserte Zweifel, an unabweislichen Thatsachen gescheitert ist. — Indessen ist die Aeusserung von Laplace ein unmittelbares Zeugniss; ein Zeugniss

in einer Sache, welche geradezu die wichtigste von allen ist, die je vor den Richterstuhl des menschlichen Verstandes gelangt sind. Unabhängig von jeder Meinung müssen wir dieses Zeugniss beleuchten, und dazu werden wir, nach dem Vorhergehenden, im Stande sein.

Laplace hatte zwei französische Astronomen, Delambre und Bouvard aufgefordert, seine allgemeinen Theorien der Bewegungen der Planeten, auf die Erde, den Jupiter, den Saturn und den Uranus anzuwenden, also danach die besonderen Theorien dieser Planeten zu construiren und diese dann mit der ganzen, mit Bradley anfangenden Reihe ihrer Beobachtungen zu vergleichen. Diese Aufforderung hatte Arbeiten zur Folge, welche im Jahre 1821 beendigt wurden. Delambre hatte seine Theorie der Bewegung der Erde schon früher bekannt gemacht; in dem genannten Jahre lieferte Bouvard die Theorien der drei anderen angeführten Planeten, und dabei die Register ihrer Vergleichung mit den Beobachtungen, worauf es hier allein ankömmt. Diese zeigen allerdings eine weit grössere Uebereinstimmung, als die war, welche ältere, auf weniger genaue Beobachtungen gegründete, und von einer weniger vollständig entwickelten allgemeinen Theorie ausgehende, besondere Theorien gewährt hatten. Die noch übrig bleibenden Unterschiede zwischen ihnen und den Beobachtungen, hatte man kein Bedenken, den letzteren zuzuschreiben, und damit hielt Laplace sein Zeugniss destomehr für gerechtfertigt, als auch die Entwickelung

der Theorie des Mondes ein ähnliches Resultat ergeben hatte.

Wenn man indessen die Register der Vergleichungen aufmerksam betrachtet, so sieht man darin häufig Unterschiede, welche freilich nicht, wie früher, bis auf ganze Minuten, aber doch bis auf 10 Secunden und darüber steigen, und dadurch beträchtlich über die Grenze des Fehlers hinausgehen, welche man den Beobachtungen der jetzigen Periode der Astronomie, vorausgesetzt, dass sie durch die Anwendung genügend bestimmter Fundamente in Geradeaufsteigungen und Abweichungen verwandelt worden sind, zuschreiben kann. Um diese Fundamente hatten sich aber Delambre und Bouvard nicht weiter gekümmert, sondern ihre gründlichere Untersuchung wurde erst später, von einer anderen Seite geschlossen. Die Unterschiede, welche ich eben als anstössig bezeichnet habe, können also aus dieser Quelle entspringen, worüber man jedoch nicht eher bestimmt urtheilen kann, als bis die Arbeit über sämmtliche Beobachtungen der Planeten vollendet sein wird, welche ich oben als wesentlich angegeben habe. So wie die Sache im Jahre 1821 stand, und bis zur Vollendung dieser Arbeit stehen wird, ist man also wirklich nicht im Stande, das Zeugniss der Beobachtungen als ein unzweideutiges zu betrachten.

In dem Falle eines der genannten Planeten, des Uranus, welcher bekanntlich im Jahre 1781 von Herschel entdeckt wurde, hat sich eine Erscheinung gezeigt, welche ich zu den merkwürdigsten zähle, welche die Astronomie dargeboten hat. Bouvard

hat nicht minder für diesen Planeten, als für die beiden anderen, eine besondere Theorie finden können, welche seinen Beobachtungen von 1781 bis 1821 in dem schon bezeichneten Masse entspricht; womit man also, wenn auch nicht unbedingt, doch bis zu der Vollendung der besprochenen neuen Bearbeitung der Planetenbeobachtungen, zufrieden sein könnte, wenn ausser diesen 40jährigen Beobachtungen keine vorhanden wären. Allein der Planet ist vor der Epoche seiner Entdeckung, von 1690 an, von Flamsteed, Tobias Mayer, Bradley und Lemonnier volle 20 Mal für einen Fixstern angesehen und als solcher beobachtet worden; und auch jedes der 18 Jahre von 1821 bis jetzt hat seinen Beitrag zu den Beobachtungen geliefert. Bouvard kannte schon den grössten Theil der älteren Beobachtungen und unterliess nicht, seine Theorie auch damit zu vergleichen, fand aber unerwartet grosse Unterschiede. Nach meiner Meinung nahm er diese viel zu leicht, indem er, nachdem es ihm nicht gelungen war, die Theorie zugleich an sie und die späteren 40jährigen Beobachtungen anzuschliessen, sich mit der Aeusserung beruhigte, die älteren Beobachtungen seien nicht so genau als die neueren. — Ich habe sie einer schärferen Kritik und einer neuen Berechnung unterworfen, und dadurch die volle Ueberzeugung erlangt, dass die vorhandenen Unterschiede, welche einigemale bis über eine ganze Minute steigen, keinesweges den Beobachtungen zuzuschreiben sind. Auch haben sich, seit 1821 wieder neue Unterschiede gefunden und von Jahr zu Jahr vergrössert, so dass sie

gegenwärtig wieder mehr als eine Minute betragen und bald, indem sie im schnellen Wachsen sind, noch beträchtlich höher gestiegen sein werden. Ein Versuch, die Theorie des Planeten, durch Verbesserung der Werthe ihrer Elemente, sämmtlichen Beobachtungen anzuschliessen, ist ohne Erfolg durchgeführt worden; eine neue Entwickelung seiner allgemeinen Theorie, durch welche eine etwanige Unvollständigkeit, oder ein zufälliger Jrrthum in der Laplace'schen, entdeckt werden sollte, hat gleichfalls keinen Aufschluss gegeben. Aus allen diesen Untersuchungen ist nur die volle Ueberzeugung hervorgegangen, dass wir in dem Uranus einen Fall besitzen, auf welchen der Laplacesche Ausspruch sicher nicht anwendbar ist: hier handelt es sich nicht um kleine, sich unter den Unvollkommenheiten der Beobachtungen fast verbergende Unterschiede, sondern um sehr grosse, diese Unvollkommenheiten sehr weit überschreitende; auch nicht um solche, welche durch Vervollständigung der Entwickelung der Anziehungen der bekannten übrigen Planeten, beseitigt werden könnten. Es handelt sich also um Unterschiede, welche nur in einer neuen physischen Entdeckung ihre Erklärung finden können.

Man muss nicht etwa glauben, dass dieser merkwürdige Fall, gegen die Anziehungslehre selbst stritte; vielmehr wird jeder Zweifel dagegen unstatthaft sein, d. h. sich in Widerspruch mit Thatsachen setzen lassen; wenigstens ist die letzte der bis jetzt aufgefundenen mathematischen Möglichkeiten einer Abweichung dieser Lehre von der Wahrheit, gerade durch die Ver-

anlassung, von welcher ich jetzt rede, zur Erörterung gelangt, hat aber nicht minder abgewiesen werden müssen, als alle schon früher zur Sprache gebrachten. Wahrscheinlich wird gerade die Lehre von der Anziehung den hier berührten Fall endlich erklären, indem sie zugleich eine Entdeckung im Sonnensysteme ergeben wird. Fernere Versuche der Erklärung werden nämlich die Absicht verfolgen, einem unbekannten Planeten jenseits des Uranus, der vielleicht wegen zu grosser Lichtschwäche nicht sichtbar ist, eine Bahn und eine Masse anzuweisen, welche so beschaffen sind, dass daraus Störungen des Uranus hervorgehen, welche die jetzt nicht vorhandene Uebereinstimmung seiner Beobachtungen herstellen. Kann man die Bewegung des Uranus wirklich auf diese Art erklären, so wird der Verlauf der Zeit diese Erklärung auch zur Evidenz erheben, in demselben Masse, in welchem er die Einflüsse der neuen Ursache zu Tage legen wird; auch muss dieselbe Ursache Einflüsse auf die Bewegung des Nachbarplaneten des Uranus, nämlich des Saturn, äussern, welche zwar viel kleiner sind, jedoch sich einer, besonders auf sie gerichteten Untersuchung wahrscheinlich nicht entziehen, und dann eine von dem Entdeckungsmittel unabhängige Bestätigung des Daseins des neuen Planeten ergeben werden. —

Ich habe dieses angeführt, obgleich der neue Planet noch keinesweges entdeckt ist, und man doch vernünftigerweise nicht eher an ihn glauben soll, als bis man sein Dasein beweisen kann — ich habe dieses

angeführt, sage ich, um Sie auf den Reichthum aufmerksam zu machen, welcher unter den astronomischen Beobachtungen nicht nur verborgen gewesen ist, sondern auch noch verborgen ist. Aber die Ader gediegenen Goldes, die ihn enthält, liegt tief; an dem zu ihr führenden Schachte muss jahrelang gesprengt und losgeschlagen werden, ehe er bis zu ihr gelangt; was, während dieser Zeit, der Schweiss des Arbeiters, weit unter dem Bereiche der Blicke von oben, ablösst, ist taubes Gestein und armes Erz, durch dessen Verschmelzung vor Erreichung der Ader, er spärlich gelohnt wird. — Jetzt aber die Moral meines Gleichnisses! — das taube Gestein und das arme Erz sind die unmittelbar von den Instrumenten abgelesenen Zahlen; der tiefe Schacht ist die Arbeit, welche die oben von mir geforderte folgerechte und vollständige Verwandlung aller Beobachtungen der Sonne und der Planeten, welche seit 1750 gemacht worden sind, in ihre conciseste Form, verlangt; der spärliche Lohn sind die Resultate, welche die Astronomie vor der Beendigung dieser Arbeit erlangen kann; die Goldader sind die Resultate, welche sie nach derselben erlangen wird; die Arbeiter sollen die Astronomen sein; die jahrelange Anstrengung ist buchstäblich zu verstehen.

Es sind jetzt 10 Jahre verstrichen, seitdem alle Mittel geliefert worden sind, wodurch die Arbeit an dem Schachte so leicht wie möglich, und ihr Erfolg sicher gemacht wird. Das Sprengen und Hämmern fing auch gleich an, und erklang an mehreren Orten

zugleich; aber die Bergleute verloren die Geduld, obgleich ihnen in England ein beträchtliches Tagelohn verheissen wurde. Nur einer hat sich durchgearbeitet, und dieses ist einer meiner hiesigen jungen Freunde, Flemming, dem ich, falls er hier gegenwärtig ist, ein Glückauf! zurufe. Die Beobachtungen des Uranus sind die, welche er bearbeitet hat. Ihre Resultate müssen nun bald zeigen, ob sie schon eine hinreichend feste Grundlage weiterer Aufklärungen sind, oder ob noch ein Jahrhundert sie durch seine Beobachtungen verstärken muss. — Wenn wir Aehnliches von allen Planeten besitzen werden, erst dann werden wir den Zustand der Astronomie des Sonnensystems genau erkennen; wir werden dann die Mittel besitzen, falls die allgemeine Theorie genügend ist, die besonderen Theorien aller Planeten den vorhandenen Thatsachen genau anzupassen; falls sie es nicht ist ihre Mängel an den Tag zu legen; wir werden eine Bahn eröffnet haben, auf welcher fortschreitend, die Astronomie sich ihrem letzten Ziele immer mehr näheren muss!

Nach dem Vorangegangenen ist es unnöthig, dass ich dieses weiter erläutere. Dagegen erlauben Sie mir noch einige Worte zur Angabe des gegenwärtigen Zustandes; Sie werden daraus sehen, dass seine Aenderung unumgänglich nothwendig ist. Hundert Folianten und Quartanten enthalten die Tagebücher verschiedener Sternwarten; ihre Zahl vermehrt sich jährlich. Die Beobachtungen sind darin, mit Recht, genau so verzeichnet, wie sie von den Instrumenten abgelesen sind; sind sie auch in Geradeaufsteigung

und Abweichung verwandelt, so kann man doch keinen Nutzen daraus ziehen, weil die Bestimmung der Fundamente, welche dazu hätte angewandt werden sollen, erst später gefunden ist. Man muss also, wenn man das Zeugniss der Beobachtungen über einen Planeten hören muss, eine längst schon fast unübersehbare, und sich jährlich vermehrende Arbeit übernehmen; worauf denn noch eine zweite, nicht minder beträchtliche, nämlich die Zusammenziehung der einzelnen Beobachtungen in gewisse Hauptmomente, folgen muss. Kurz es muss, in jedem einzelnen Falle genau das geschehen, was ich ein für allemal gefordert habe. Allein diese Arbeit ist Allen, die sich mit der Theorie der Planeten beschäftigt haben, viel zu gross erschienen, um sie vollständig auszuführen; sie haben einen kleinen Theil davon ausführen müssen, auch es damit nie so consequent und genau nehmen können, als doch nöthig gewesen wäre, um das vollständige und unentstellte Zeugniss der Beobachtungen zu erfahren. Die unvermeidliche Folge hiervon ist, dass man wirklich zu weit geht, wenn man von einem Zeugnisse der Beobachtungen spricht; Niemand kann angeben, worin es eigentlich besteht.

Werden dagegen alle jetzt vorhandenen Beobachtungen auf die besprochene Art verarbeitet, so erhält man dadurch die Früchte von ihnen, in so conciser Gestalt, dass sie für jeden Planeten nur ein Paar Octavseiten füllen. Diese enthalten unwandelbare Thatsachen, zu welchen die späteste Zeit noch zurückkehren muss; von Zeit zu Zeit werden sie Nachträge

erhalten, in jedem Jahre eine Zeile. Fortwährend wird das Verhalten der Theorien zu der Wahrheit, welche dadurch unverhüllt hervortreten wird, vor Augen liegen; und so wie sich eine Abweichung zeigt, wird sie den Versuch hervorrufen, sie durch eine Berichtigung der Theorie, welche den früheren, so wie den späteren Quellen ihr Recht erweiset, wegzuschaffen. So lange dieses möglich ist, ist kein Grund vorhanden, der allgemeinen Theorie zu misstrauen; aber ihr Nichtgenügen wird in demselben Augenblicke hervortreten, in welchem die Beobachtungen hinreichen, es an den Tag zu legen. — Die Astronomie wird fortschreiten und auch ihre ehrenvollste Aufgabe lösen, indem sie nach und nach alle Geheimnisse des Weltgebäudes enthüllet.

Ich habe noch Einiges über die Anwendung der Beobachtungen der früheren Perioden zu sagen, denn ich habe zuletzt nur von denen der gegenwärtigen gesprochen. Ich muss und werde eilen. Da diese Beobachtungen, obgleich ihre Genauigkeit sich von Periode zu Periode vermehrt hat, weit hinter den gegenwärtigen zurückbleiben, so ist zwar klar, dass ein aus ihnen gezogenes Resultat weit weniger Gewicht besitzt, als eins, welches man durch eine gleich grosse Anzahl neuerer Beobachtungen erlangen kann; allein der Werth, welchen die älteren für uns haben, wird nicht sowohl hierdurch, als durch das Verhältniss ihrer Genauigkeit zu ihrem Alter bestimmt. Eins der Elemente jedes Planeten, seine im Verhältnisse der Zeit fortschreitende Bewegung, deren genaue

Bestimmung vorzugsweise wichtig ist, wird z. B. durch die Vergleichung der jetzigen Beobachtungen mit 100 Jahre alten, sicherer bestimmt, als durch ihre Vergleichung mit 200 Jahre alten, wenn die Unsicherheit der ersteren weniger als die Hälfte der Unsicherheit der anderen ist. Schätzt man die Unsicherheiten der Alexandrinischen, Tychonischen und Flamsteed-schen Beobachtungen, resp. auf einen Viertelgrad, auf eine Minute, auf 10 Secunden, was ziemlich richtig sein mag, und nimmt man ihr Alter, von der Mitte der gegenwärtigen Periode angerechnet, zu 2000, 200 und 100 Jahren an, so erhält man die Unsicherheit der aus ihren Vergleichungen hervorgehenden Bestimmung der jährlichen Bewegung, mit ihrem Alter wachsend, nämlich aus den Flamsteed'schen um ein Zehntel einer Secunde, aus den Tychonischen drei, aus den Alexandrinischen fast fünf Zehntel. Es würde also sehr unzweckmässig sein, wenn man die Bewegungen der Planeten durch die Vergleichung der Alexandrinischen und der Tychonischen Beobachtungen mit den neueren bestimmen und die, obgleich weniger alten, Flamsteed'schen nicht vorziehen wollte. Aber ob selbst diese zu berücksichtigen sind, oder ob die Beobachtungen der gegenwärtigen Periode, für sich allein genommen, nicht ein noch genaueres Resultat verheissen, kann auf ähnliche Art untersucht werden. Gegenwärtig hat diese Periode eine Dauer von 90 Jahren erlangt; nimmt man die Unsicherheit, welche die Beobachtungen von der Genauigkeit der Bradley-

schen und der neueren, in der Bestimmung eines, aus mehreren von ihnen abgeleiteten Ortes eines Planeten übrig lassen, gewiss nicht zu klein, zu zwei Secunden an, und ferner das nachtheiligste Zusammentreffen dieser Unsicherheit am Anfange und am Ende, so kann die aus der Vergleichung des Ortes im Jahre 1750 mit dem Orte im Jahre 1840 hervorgehende Bewegung höchstens nur vier Secunden, und die jährliche höchstens nur $\frac{4}{90}$ Secunden, also noch nicht einmal halb so viel betragen, als die Unsicherheit, welche die Flamsteed'schen Beobachtungen übrig lassen. Es ist also auch unzweckmässig, selbst auf diese Beobachtungen die Bestimmung der Bewegungen der Planeten zu gründen. Dieses ist die Folge der bereits so lang gewordenen Dauer der gegenwärtigen Periode; vor 50 Jahren, als sie erst bis auf 40 Jahre angewachsen war, hätten die Vergleichungen der in ihr liegenden Beobachtungen eine eben so grosse Unsicherheit übrig gelassen, als ihre Vergleichungen mit den Flamsteed'schen; früher eine grössere.

Es ist übrigens allgemein in der Ordnung, dass Ueberlieferungen einer früheren Zeit, wenigstens wissenschaftliche, welche, nach den Verhältnissen ihrer Zeit beurtheilt, ausgezeichnet hervortreten, desto mehr von ihrem Werthe verlieren, je weiter die, andere Verhältnisse herbeiführende Zeit fortschreitet. Ich selbst kann noch bis dahin zurückdenken, wo mir Flamsteed's Tagebücher ein Schatz waren; jetzt würde es sehr verkehrt sein, wenn ich mich be-

streben wollte, seinen grösstentheils verschwundenen Werth, ferner als bestehend zu betrachten. — In Beziehung auf die Bewegungen im Sonnensysteme, haben die älteren Beobachtungen kaum noch ein anderes Interesse, als die Stufen zu sein, welche nach und nach zu den gegenwärtigen führten.

Gleichgewicht und Bewegung.

Die **Mechanik**, die Lehre vom Gleichgewichte und der Bewegung, beschäftigt sich mit der Ermittelung der Gesetze, welchen die Wirkungen der Kräfte folgen; derselben Gesetze, wonach die ganze physische Welt regiert wird. Diese Gesetze sind allgemein; sie werden tiefer im Inneren der Erde befolgt, als die Haue des Bergmanns, weiter in den Fernen des Himmels, als das Fernrohr des Astronomen zu dringen vermag; und nicht minder als in unergründlicher Tiefe und unerreichbarer Höhe, auf der Oberfläche, auf welcher wir leben. Das Staubkorn ist nicht zu klein, das Weltall nicht zu gross, um nicht der Wirkung von Kräften unterworfen zu sein, um nicht den Gesetzen unterworfen zu sein, welchen diese Wirkung folgt.

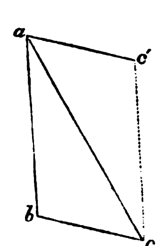
Das worüber ich sprechen werde, ist die **Philosophie der Natur**. **Newton** hat diese Benennung gebraucht, als es ihm gelungen war, zahlreiche Erscheinungen am Himmel und auf der Erde, durch die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung zu erklären; die fortgeschrittene Zeit hat sie fortschreitend

gerechtfertigt, indem sie jede über Ansicht hinausgehende Einsicht in die Natur, die sie geliefert hat, aus der Verfolgung der Wirkungen von Kräften geschöpft hat. Auf diese Art sind nicht allein die Bewegungen der Himmelskörper mit wachsender Vollständigkeit erklärt worden; sondern auch die Erscheinungen, welche das Licht gewährt; das Aufsteigen der Flüssigkeiten in engen Röhren und damit zusammenhangende Erscheinungen, auch in der organischen Natur; das Verhalten der elastischen Körper; die Wirkungen der Electricität; die Wirkungen des Magnetismus — kurz Alles was weiter bekannt geworden ist, als es durch unmittelbare Beobachtung bekannt werden konnte.

Eine Kraft ist die Ursache, aus der das Bestreben zweier Körper hervorgeht, sich einander zu nähern, oder voneinander zu entfernen. Ihr inneres Wesen ist uns verborgen, und wird verborgen bleiben, gleichwie der letzte Grund jeder Erscheinung; ihre Wirkungen aber offenbaren sich, und nur diese gehen die Philosophie der Natur an. Wenn ein freier, materieller Punkt, er mag im Zustande der Ruhe oder der Bewegung sein, ohne Aenderung dieses Zustandes bleibt, wenn er also keine Wirkung verräth, so giebt er auch keinen Anlass, an eine ändernde Ursache zu denken; wenn sich aber dieser Zustand ändert, wenn der Punkt aus der Ruhe in Bewegung, oder aus der Bewegung, die er besitzt, in eine veränderte übergeht, wenn er also, nach einer gewissen Zeit, sich nicht an dem Orte den der ungeänderte Zustand ihm anweisen

würde, sondern an einem anderen Orte befindet, so giebt er Anlass zu der Vorstellung einer Ursache der Verschiedenheit beider Oerter. Die Grösse dieser Ursache — die Kraft — kann der Grösse, welche die Entfernung der beiden Oerter eines freien, materiellen Punktes, in einer bestimmten Zeit, z. B. einer Secunde, durch sie erlangt, verhältnissmässig gesetzt werden; die Richtung von dem einen Orte nach dem anderen lehrt die Richtung kennen, in welcher sie gewirkt hat *). — Indem offenbar eine Grösse nur durch eine gleichartige, also eine Kraft nur durch eine Kraft gemessen werden kann, so ist unter Grösse einer Kraft, ihre Wirkung auf einen freien, materiellen Punkt, gemessen durch die ähnliche einer zur Einheit angenommenen Kraft, zu verstehen. Wird z. B. die Kraft, welche das Fallen der schweren Körper auf der Erde verursacht, zur Einheit angenommen, so ist eine andere Kraft = 2 wenn sie einen freien, materiellen Punkt, gleichzeitig doppelt so weit bewegt als jene; = 3 wenn dreimal so weit u. s. w.

Aus dieser Erklärung des mit dem Worte Kraft zu verbindenden Sinns geht hervor, dass der Ver-



*) Wenn der Punkt sich im Zustande der Bewegung befindet und dieser ihn, in der angenommenen Zeit von *a* nach *b* führen würde, während er wirklich von *a* nach *c* gelangt, so hat die Kraft ihn von *b* nach *c* getrieben. Wenn er dagegen, durch seine anfängliche Bewegung allein von *a* nach *b*, durch die Kraft allein von *a* nach *c'* gelangen würde, so gelangt er wirklich von *a* nach *c*, falls *b c* gleich und gleichlaufend *a c'* genommen wird.

folgung von Kräften veranlasster Erscheinungen durch Raisonnement, jede Speculation über die Natur der Ursache der darin sichtbar werdenden Wirkungen, genau so fremdartig ist, als die Kenntniss der Einheit einer Zahl, einer mit ihr auszuführenden Rechnung. Wenn z. B. Zahlen von Thalern, Pfunden, Fussen... addirt werden sollen, so ist nichts überflüssiger dazu, als die Frage nach der Beschaffenheit eines Thalers, Pfundes, Fusses...; die anzuwendende Rechnungsregel hat nur mit den Zahlen, nicht mit den Dingen, deren Menge dadurch beschrieben wird, zu thun. Die Metaphysik der Kräfte ist nicht weniger überflüssig zur Beurtheilung der aus Kräften hervorgehenden Erscheinungen. —

Aus der Erklärung des Worts geht ferner hervor, dass eine Kraft sich eben so von jeder anderen Kraft unterscheidet, wie eine gerade Linie von jeder anderen geraden Linie: in beiden Fällen sind Grösse und Richtung das Unterscheidende. So wie die Grösse einer geraden Linie durch ihr Verhältniss zu einem willkürlich zu wählenden Masse — dem Fusse, der Meile, dem Erdhalbmesser.... deutlich wird, eben so wird es die Grösse einer Kraft, durch ihr Verhältniss zu einer anderen, also durch das Verhältniss der Bewegungen, welche beide Kräfte einem freien, materiellen Punkte, während einer gleichen Zeit mittheilen. Offenbar bleibt die Wahl der Kraft, die als Mass anderer Kräfte genommen werden soll, willkürlich: sie kann die sein, die das Fallen der schweren Körper auf der Erde verursacht; die, womit die Sonne in der

Entfernung der Erde von ihr wirkt, oder irgend eine andere. Sobald die Bewegung, welche die zum Masse genommene Kraft, einem freien, materiellen Punkte, während einer gewissen Zeit, z. B. einer Secunde, mittheilt, durch Beobachtung bekannt geworden ist, wird jede andere Kraft durch sie gemessen, indem das Verhältniss ihrer ähnlichen Wirkung zu der vorigen als ihre Grösse betrachtet wird.

Nach dieser Erklärung über den Sinn des Wortes Kraft, kann man die Aufgabe kurz genug aussprechen, welche die Mechanik aufzulösen hat: sie soll von dem einfachsten Falle, von dem Falle der Bewegung eines freien, materiellen Punktes, also von dem Falle, von welchem die Erklärung der Kraft selbst hergenommen ist, auf die Wirkungen folgern, die in jedem Falle, in welchem sich Kräfte äussern, hervortreten.

Die Folgerungen der Mechanik sind mathematische, weil die Bestimmung der Grösse einer Kraft durch ihr Zahlenverhältniss zu einer anderen, zum Masse gewählten, sie zu einer Grösse macht, die erschöpfend durch Zahlen beschrieben werden kann; zu einer Grösse der Art, die ausschliesslich und immer Gegenstand der mathematischen Betrachtung wird. Es kann nicht meine Absicht sein, die lange Reihe von Schlüssen vorzuführen, welche von der einfachsten Aeusserung einer Kraft anfängt, und ihr Ende nur mit der Rechtfertigung der Behauptung gefunden hat, dass sie jede Aeusserung von Kräften, nicht minder in den zusammengesetztesten und schwierigsten Fällen, als in einfachen und leicht zu übersehenden, umschliesst. Aber

ich darf mich auch nicht begnügen, einige der auffallendsten Momente dieser langen Reihe auszuzeichnen, ohne vorher den Versuch gemacht zu haben, die Natur der Verkettung ihrer einzelnen Theile untereinander, anschaulich zu machen; ohne anzudeuten, wie so viele Theile, ohne Verwirrung, ohne Beeinträchtigung der Deutlichkeit der Einsicht in jeden Theil, bleiben können; ohne endlich mich zu bemühen, die Möglichkeit einer so kühn erscheinenden Behauptung zu erläutern, wie die war, dass die Mechanik die Wirkung von Kräften in jedem Falle zu bestimmen vermag.

Dieses Alles ist durch die neuere Mathematik möglich geworden, deren Wesen ich zu erläutern versuchen muss; um dadurch verständlich zu machen, auf welche Art sie, allenthalben wo sie Anwendung gefunden hat, zu unzweideutigen Wahrheiten hat führen können, die oft so weit von ihrem Ursprunge entfernt sind, dass sie menschlichem Verstande unerreichbar erscheinen, auch sicher nicht von ihm erreicht sein würden, wenn seine Kraft nicht durch die Kraft der Mathematik eine grosse Verstärkung erhalten hätte. — Ihre Kraft hat die neuere Mathematik durch die Kunst erlangt, jeden sich auf ein Grössenverhältniss beziehenden Begriff, jede von ihr verlangte Operation, jeden ihrer Schlüsse, nicht allein kurz und bestimmt, sondern auch erschöpfend, zu bezeichnen. Wenige Zeichen reichen hin, einen der Untersuchung zu unterwerfenden Gegenstand, in allen seinen Eigenthümlichkeiten, von allen anderen Gegenständen zu

unterscheiden; so dass jede ihn angehende Wahrheit, die offen am Tage liegende, wie die tiefverborgenste, in jenen Zeichen enthalten ist. Eine andere Anwendung derselben Zeichen, erforderlichenfalls in Verbindung mit einem oder einigen hinzukommenden, spricht jede dieser Wahrheiten, also jeden von der Eigenthümlichkeit des Gegenstandes ausgehenden Schluss, so erschöpfend aus, dass die ganze Reihe von näheren Schlüssen, die zu einem entfernteren geführt hat, nachdem dieser erreicht worden ist, gar nicht mehr beachtet werden darf; so dass er einem erworbenen Vermögen vergleichbar wird, dessen Besitz die Anwartschaft auf seine Vermehrung giebt, und dessen Verwendung mit den zu seiner Erwerbung angewandten Mitteln in keiner Verbindung ist. — Vielleicht gelingt es mir, das wovon ich rede, an einem Beispiele anschaulicher zu machen. Offenbar giebt es so viele, ihrer Form und Grösse nach verschiedene krumme Linien, als man sie nach verschiedenen Bedingungen ziehen will, also eine unzählbare Menge derselben. Die einfachste ist der Kreis, der entsteht, wenn ein Punkt um einen anderen festen Punkt so herumgeführt wird, dass beide gleiche Entfernung voneinander behalten. Andere krumme Linien, die sogenannten Kegelschnitte, entstehen, wenn ein Kegel durch eine Ebene durchschnitten wird, und zwar erhalten sie, je nach den verschiedenen Richtungen des Schnitts, verschiedene Formen und verschiedene Benennungen: Ellipse, Parabel, Hyperbel. Die erstere ist eine geschlossene krumme Linie, die wie ein, nach einer Richtung mehr oder weniger ver-

längerter Kreis angesehen werden kann, und durch jeden Schnitt erzeugt wird, der von dem ohne Ende fortgesetzt gedachten Kegel, einen seine Spitze enthaltenden Theil ganz abtrennt; sie verlängert sich destomehr, je weniger die schneidende Ebene nach der dem Anfangspunkte des Schnitts gegenüberliegenden Seite des Kegels hingeneigt wird. Sie verlängert sich ohne Ende, hört also auf geschlossen zu sein, wenn der Schnitt der gegenüberstehenden Seite gleichlaufend wird, in welchem Falle sie die Benennung Parabel annimmt. Jede noch mehr veränderte Lage der schneidenden Ebene, also jede sie von der gegenüberliegenden Seite des Kegels abwärts neigende und daher ebenfalls eine, mit ohne Ende fortgehenden Aesten versehene krumme Linie ergebende, erzeugt die dritte Art der Kegelschnitte, die Hyperbel. Ohne Vergleich viel mannichfaltiger als die sich in diesen einfachsten krummen Linien zeigenden Formverschiedenheiten, sind die aus weniger einfachen Entstehungsarten derselben hervorgehenden: oft krümmt sich eine Linie schlangenartig, oft zeigt sie mehrere geschlossene, entweder abgesonderte, zusammenhängende oder ineinanderverschränkte Theile, oft hat sie zahlreiche ohne Ende fortgehende Aeste, oft alles dieses zugleich. Aber wie auch eine krumme Linie aussehen mag, nie verschweigt die ihr zugehörige einfache Bezeichnung einen Punkt ihres Zuges. Diese Bezeichnung ist nicht etwa eine, für jede krumme Linie durch Uebereinkunft eingeführte, wie das Wort einer Sprache, dessen Bedeutung vor seiner Anwendung bekannt sein muss;

sie ist vielmehr der Buchstabenzusammenstellung vergleichbar, durch welche das Wort gegeben ist, seine Bedeutung mag bekannt oder unbekannt sein. So wie eine willkürliche Zusammenstellung von Buchstaben ausgesprochen werden kann, so kann auch die einer willkürlich gewählten Bezeichnung entsprechende krumme Linie vollständig angegeben werden; und es bleibt dabei gleichgültig, ob diese krumme Linie auch anderweitig, etwa durch ihre Entstehungsart, erklärt werden kann, oder nicht.

Die Ehre des grossen Schrittes von der älteren Mathematik zu der neueren, den ich eben anschaulich zu machen gesucht habe, nämlich die Ehre der Einführung der mathematischen Bezeichnungskunst, gebührt Descartes. Aber dieser Schritt war nur der erste in einer neuen Richtung. Da die Bezeichnung jeder krummen Linie vollständige Rechenschaft von ihr giebt, so ist offenbar, dass aus ihr auch Alles muss herausgelesen werden können, was der krummen Linie eigenthümlich ist. Die Geometer erhielten daher die Aufgabe, Methoden zu finden, wodurch das in ihr Verborgene an den Tag gelegt werden konnte. Sie fanden, dass jede, eine krumme Linie betreffende Frage, durch eine von ihrer Bezeichnung ausgehende, der Art der Frage angemessene Operation, beantwortet werden konnte. Fragt man nach der Lage einer geraden Linie, welche eine bezeichnete krumme an einem bestimmten Punkte berührt, so erhält man die Antwort durch die Forderung einer, mit der Bezeichnung selbst vorzunehmenden bestimmten Operation; fragt man nach der Länge des

von zwei beliebigen Punkten begrenzten Bogens der krummen Linie, nach dem Raume der von diesem Bogen und einer, oder mehreren, geraden oder krummen Linien eingeschlossen wird — kurz nach irgend etwas, was, durch die Kenntniss der krummen Linie selbst, seine Bestimmung erhält, so sind die Antworten immer von derselben Art. Auf gleiche, sich auf jede beliebige krumme Linie beziehende Frage, wird immer durch die Forderung einer gleichen Operation geantwortet; die Antwort wird nur dadurch für verschiedene krumme Linien verschieden, dass die von ihr geforderte Operation mit den ihnen zugehörigen verschiedenen Bezeichnungen vorgenommen wird.

Die Aufsuchung der jeder Frage angemessenen Operation, gab der sogenannten Analyse des Unendlichen ihre Entstehung; einer Erfindung, die die Zeit von Newton und Leibnitz zu der glänzendsten in der Entwickelungsgeschichte der menschlichen Einsichten machen würde, wenn ihr auch der Erstere nicht, durch die Entwickelung der Philosophie der Natur, von einer anderen Seite gleich hellen Glanz verliehen hätte. Seit dieser Zeit haben die mathematischen Betrachtungen zwei abgesonderte Theile erhalten: sie zerfallen in die allgemeine Antwort auf alle einander ähnlichen Fragen, und in die Ausführung der durch diese geforderten Operationen in jedem besonderen Falle. Die letztere hat einen neuen Zweig der Mathematik in das Leben gerufen, den mathematischen Calcül; dessen Gegenstand die Aufsuchung der Mittel ist, wodurch die geforderten Operationen

ausführbar werden. Das äusserste Ende dieses Zweiges ist zwar, immer wenn Anwendung auf besondere Fälle beabsichtigt wird, die Zahlenrechnung; aber man würde sich von dem mathematischen Calcül, geschweige denn von Mathematik, eine ganz unrichtige Vorstellung machen, wenn man diese von der Rechnung hernehmen wollte. Der mathematische Calcül giebt vielmehr die Vorschrift, wie, immer wenn jene Anwendung verlangt wird, die Rechnung geführt werden soll.

Wenn ich von krummen Linien gesprochen habe, so ist es nur geschehen, um der Gestalt sichtbare Umrisse zu geben, die die reine Mathematik in dem Falle einer Anwendung zeigt. An sich hat sie weder mit krummen Linien, noch mit irgend einem sinnlichen Gegenstande, sondern nur mit Zahlen zu thun; es giebt nur eine Mathematik, die aber so viele Anwendungen findet, als Vorstellungen durch Zahlen erschöpfend beschrieben werden können. Sie lehrt nie etwas unmittelbar von dem Gegenstande ihrer jedesmaligen Anwendung, sondern nur mittelbar, indem sie zu Zahlen führt, von welchen der Uebergang zu dem Gegenstande gemacht wird. Sie ist reines Raisonnement, welches nur fordert, dass ein Wort oder Zeichen nicht mit sich selbst in Widerspruch gebracht werde. — Soll diese reine Mathematik sich in Geometrie verwandeln, d. h. etwas von Linien und Räumen lehren, so fordert sie vorweg das, was nöthig ist, um ihr Raisonnement mit Linien und Räumen in Verbindung zu setzen; was sie dann fordert, sind die Grundsätze der Geometrie — einige einfache, als keines

Beweises bedürftig anzusehende Behauptungen — die zwar nicht erforderlich sind, um zwei gerade Linien, oder allgemeiner zwei in gleiche und ähnliche Theile zerlegbare Grössen, miteinander zu vergleichen, wohl aber, um eine krumme Linie mit einer geraden, allgemeiner zwei unähnliche Gegenstände, vergleichbar erscheinen zu lassen. Von derselben Art ist das Verhältniss der Mathematik zu der Mechanik, so wie zu jeder ihrer Anwendungen: der Unterschied zwischen der einen und der anderen ist nur, dass die, jede Anwendung vermittelnden Grundsätze aus der Natur dieser Anwendung hergenommen werden.

Die allgemeine Uebersicht über das Wesen der neueren Mathematik, die ich versucht habe, ist grossentheils aus dem Wunsche hervorgegangen, anzudeuten, wo und wie diese die Mittel hat finden können, an sie gerichtete so allgemeine Fragen zu beantworten, dass sie jeden denkbaren, gleichartigen Fall umfassen. Das was ich von der Mechanik zu sagen haben werde, wird hierauf zurückführen. Der grösste Erfolg, auf den dieser Versuch mir Hoffnung geben kann, ist, dass er auf einen Punkt führe, von wo sich eine Fernsicht in das Gebiet der Mathematik eröffnet. Dass bei weitem die Meisten sich mit dieser befriedigen müssen, würde Jedem unerwartet erscheinen, der den Reichthum der neueren Mathematik und das Gewicht kennt, welches sein Besitz sowohl der Forschung in allen Zweigen der Naturwissenschaft und vielen der Kunst, als auch dem Eindringen in Erforschtes verleiht, — wenn er sich nicht leicht überzeugen könnte,

dass Wenige Gelegenheit erlangen, den Werth des von ihnen Entbehrten richtig zu würdigen. Einer Zeit, welcher die neuere Mathematik, und mit ihr jede, durch sie eröffnete Einsicht in die Natur fehlte, gehört die Richtung der wissenschaftlichen Bildung an, welche noch die allgemeine ist. Die Sprachen der Griechen und Römer und die Anfangsgründe der Mathematik der ersteren, waren die Grundlagen des Jugendunterrichts, dessen sprachlicher Theil auch in den geschichtlichen und dichterischen Werken der Alten schöne Gelegenheit zur Anwendung fand, dessen mathematischer Theil aber ähnliche entbehrte. Die Mathematik — ältere und neuere — ist vor Anderem geeignet, an die Unterscheidung unzweideutiger Wahrheit von mehr oder weniger begründeter Annahme zu gewöhnen; die ältere ist auch nichts weniger als arm, sie ist reich an schönen Früchten des menschlichen Geistes; an so schönen, dass sie diese, bei geringen Ansprüchen auf Erfolge in der Erforschung der Natur, also ohne dringende äussere Anregung, vielleicht nur unter dem Schutze des von Sorgen des Nordens befreienden Himmelsstrichs Griechenlands und bei dem Fehlen der Veranlassung, auch die Zeit des reiferen Verstandes auf Erlernung älterer Sprachen zu verwenden, zeitigen konnte. Denn, vergleichungsweise mit dem neueren Zustande der Wissenschaft, ist der ältere ein wenig mächtiges Mittel, in die Geheimnisse der Natur und die werthvollsten Erfindungen in Wissenschaften und Künsten einzudringen. —

Es kostet wenige Zeit, die Bezeichnungskunst, die Sprache der neueren Mathematik, zu lernen; aber nur anhaltende und vorzugsweise Beschäftigung mit der Mathematik und ihren Anwendungen, kann diejenige innige Kenntniss und Geläufigkeit derselben hervorbringen, welche ihrem Besitze seinen vollen Werth verleiht. Jeder der sie lernt wird damit kein Newton, eben so wenig wie Jeder der sprechen lernt ein Weiser wird. Aber wer sie nicht lernt, der leistet Verzicht auf den Besitz des einzigen vorhandenen Mittels, entweder selbst über die Grenze hinauszureichen, die die unmittelbare des Verstandes ist, oder deutlich zu sehen, wohin Andere, es sei in der Mathematik selbst, oder in den, durch sie erworbenen Einsichten in die Natur, gereicht haben. — Selten habe ich die Mathematik als verwerflich darstellen gehört *); aber häufig habe ich über das Verhalten ihres Studiums zu anderen Studien Urtheile gehört, welche mir nur durch die Annahme erklärlich geworden sind, dass die Urtheilenden, indem sie von

---

*) Montucla führt (Hist. des Math. I. p. 533) eine Stelle aus einer periodischen Schrift des Jahrs 1773 an: „Quelque liaison y a-t-il entre les choses elles-mêmes, et cet obscur grimoire de lettres peut-être jettées au hasard.“ — Wenn solche Albernheiten selten sind, so finden sich auch mächtige Vorurtheile zwischen unserer Zeit und der späteren, in welcher das Studium der Mathematik, die Auffassung der Erscheinungen der Natur und ihre mathematischen Verbindungen, die Hauptgegenstände des Unterrichts sein werden; Vorurtheile, die rücksichtslos anzutasten, weder heilsam sein, noch gelingen würde, die aber die fortschreitende Zeit naturgemäss, d. h. allmählig zerstören wird.

Mathematik sprachen, nur den älteren Theil derselben, vielleicht nur seine Anfangsgründe, im Sinne hatten. — Leibnitz, der die wundervolle Kraft der mathematischen Sprache genau kannte, fasste den Gedanken, auch die Entwickelung aller anderen Begriffe, durch ein ähnliches Mittel, über die unmittelbare Grenze des Verstandes zu steigern; er verfolgte ihn während seines Lebens und hielt ihn fortwährend für ausführbar. Da er ihn aber weder an einem Beispiele bewährt, noch seine Deutlichkeit anderweitig dargethan hat, auch das was er darüber sagt, eher einem Räthsel als seiner Auflösung gleicht, so ist er ohne Frucht, und damit die Mathematik im ausschliesslichen Besitze eines Mittels, sich bis zu entfernten Wahrheiten zu erheben, geblieben.

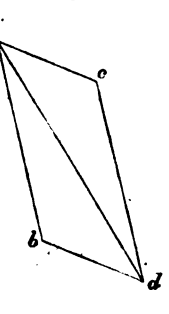
Ich kehre wieder zur Mechanik zurück. — Eine Kraft verräth, wie wir wissen, ihre Grösse, durch die Grösse der von ihr erzeugten Bewegung eines freien, materiellen Punkts. Sind mehrere Punkte miteinander verbunden, wirkt dieselbe Kraft auf jeden und erfährt keiner ein Hinderniss ihrer Wirkung zu folgen, so ist offenbar, dass die freie Bewegung eines der Punkte, nicht von der eines anderen beeinträchtigt wird, dass also das Ganze der Kraft genau so folgt, wie jeder Punkt, abgesondert, ihr folgen würde. Die Bewegung, welche eine Kraft einer Masse, d. h. einer Verbindung von materiellen Punkten, mittheilt, ist also von der Zahl der Punkte unabhängig; aber sie äussert sich sovielmal, als Punkte vorhanden sind. Wenn man unter bewegender Kraft das Product einer Masse

und der auf alle ihre materiellen Punkte wirkenden Kraft versteht, so bezeichnet diese Benennung die Aeusserung der Kraft, die in der durch diese erzeugten Bewegung der Masse hervortritt; ihr muss gleich grosse bewegende Kraft entgegengesetzt werden, wenn die Masse das Bestreben sich zu bewegen, nicht äussern soll.

Der Zustand, in welchem vorhandene Kräfte nicht das Bestreben äussern, Bewegung hervorzubringen, ist der des Gleichgewichts. Jeder ruhende Körper auf der Erde giebt ein Beispiel davon. Ein Körper, der ruhig auf einem Tische liegt, ist im Gleichgewichte, weil der bewegenden Kraft, vermöge welcher er fallen würde, wenn der Tisch nicht vorhanden wäre, durch die Festigkeit der letzteren eine gleich grosse entgegengesetzt wird; eine, beiderseits gleich belastete, gleicharmige Wage ist im Gleichgewichte, weil die eine Last sich eben so stark nach der einen Seite, als die andere nach der anderen zu drehen strebt. Aus gleichen, aber entgegengesetzt wirkenden bewegenden Kräften geht immer Gleichgewicht hervor; aber man begreift leicht, dass Hundert Fällen, in welchen es sich, wie in den eben angeführten, von selbst versteht, Tausend andere an die Seite gesetzt werden können, in welchen die Bedingung, die erfüllt werden muss, damit es eintrete, nur durch Raisonnement klar wird. Um eines der einfachsten dieser Fälle zu erwähnen, erinnere ich an die ungleicharmige Wage, die sogenannte Schnellwage, zu deren Gleichgewichte erforderlich ist, dass, wenn einer ihrer Arme 2, 3, 4, . . .

mal so lang ist als der andere, der kürzere 2, 3, 4,... mal so stark belastet werde als der längere. Dieses kann aber nicht als eine sich von selbst verstehende Wahrheit, sondern nur als eine aus einer solchen gefolgerte angesehen werden, wenn auch ein so einfacher Fall nur eine nahe liegende Folgerung erwarten lässt.

Archimed, der Einzige unter den Alten, der uns einige Anfangsgründe der Mechanik hinterlassen hat, ist von dem Gleichgewichte der gleicharmigen Wage ausgegangen, und hat aus der evidenten Bedingung desselben, zunächst die Bedingung des Gleichgewichts der ungleicharmigen Wage, und ferner die Bedingungen anderer Fälle des Gleichgewichts abgeleitet. Neuere, von Galilaei an, haben als Grundsatz angenommen, dass ein Punkt, wenn er die Wirkung zweier Kräfte erfährt, beiden folgt, d. h. sich in der Richtung jeder so weit bewegt, als sie allein ihn treiben würde; woraus hervorgeht, dass er sich wirklich in der Diagonale *a d* des Parallelogramms bewegt, dessen Seiten *a b*, *a c* Grösse und Richtung der Kräfte darstellen; dass also die beiden Kräfte zusammengenommen einer dritten gleich gelten, deren Grösse und Richtung durch die Diagonale *a d* dargestellt wird, oder dass diese dritte, in entgegengesetzter Richtung genommen, ihnen Gleichgewicht leistet. — Obgleich der eine dieser Grundsätze aus dem anderen gefolgert



werden kann, beide also in allen Fällen, für welche die Bedingungen des Gleichgewichts aufgesucht werden sollen, nothwendig zu gleichen Resultaten führen, so ist doch jene Folgerung nicht so einfach, dass sie nicht Anlass geben sollte, noch einen dritten Grundsatz zu vermuthen, der beide enthält. Dieses ist wirklich der sogenannte Grundsatz der virtuellen Geschwindigkeiten. Wenn man einem Systeme — gleichviel wie — miteinander verbundener materieller Punkte, eine beliebige unendlich kleine Bewegung giebt, und dann die dadurch, in der Richtung jeder auf einen Punkt wirkenden Kraft hervorgebrachte Ortsveränderung desselben mit der Kraft selbst multiplicirt, so ist die Gleichheit der Summe derjenigen dieser Producte, in welchen die Ortsveränderung und die Kraft gleiche Richtung haben, und der Summe der Producte, in welchen beide entgegengesetzte Richtung haben, dem ausgesprochenen Grundsatze zufolge, die Bedingung des Gleichgewichts des ganzen Systems. Diesen Grundsatz, obgleich nicht so allgemein ausgesprochen, hat schon Galilaei erkannt; aber Johann Bernoulli hat zuerst seinen vollen Werth an den Tag gelegt. Zwar ist er nicht so unmittelbar evident, dass er als erster Grund der Lehre vom Gleichgewichte gelten könnte; aber es ist nicht schwer, ihn aus anderen evidenten Sätzen, z. B. den vorher erwähnten, abzuleiten. Lagrange hat seine Wahrheit sehr einfach, durch die Verfolgung der Betrachtung erwiesen, dass ein gespannter Faden allenthalben gleich stark gespannt ist.

Dieser Grundsatz spricht die Bedingung des Gleichgewichts aus, ohne seinen Ausspruch auf die Eigenthümlichkeit irgend eines bestimmten Falls zu beziehen. Er unterscheidet sich hierin von den vorher angeführten Grundsätzen, indem diese dieselbe Bedingung für besondere Fälle aussprechen, der eine für den Fall der Wage, der andere für den Fall verschiedener, auf einen Punkt wirkender Kräfte. Wenn es auch möglich ist, von den Bedingungen des Gleichgewichts dieser Fälle zu denen zusammengesetzterer zu gelangen, so geschieht dieses doch wirklich erst in Folge der Auffindung eines Ueberganges von dem einen zu dem anderen; wogegen der Grundsatz der virtuellen Geschwindigkeiten jeden Fall unmittelbar enthält, indem er von jedem körperlichen Systeme gilt. Wenn es daher gelingt, die mathematische Bezeichnung dieses Grundsatzes zu finden, so umschliesst sie die ganze Lehre vom Gleichgewichte, und liefert also die jedem bestimmten Falle angemessene Bedingung desselben; gerade so, wie die allgemeine Auflösung einer die krummen Linien betreffenden Aufgabe die einer bestimmten krummen Linie angemessene liefert; d. h. durch Anwendung der allgemeinen Vorschrift auf die Bezeichnung des bestimmten Falles.

Auf diese Höhe ist die Lehre vom Gleichgewichte — die Statik — wirklich gelangt. Unsterblich sind Lagrange's Verdienste darum. Nachdem er die, alle Fälle umfassende Bezeichnung der Bedingung des Gleichgewichts in ihre einfachste Gestalt gebracht hat, setzt er sein ganzes erfinderisches Talent in Thätigkeit,

um Methoden zu entdecken, vermittelst welcher die Antwort auf jede, das Gleichgewicht betreffende Frage, daraus abgeleitet werden kann. Ich kann hier nur davon sagen, dass der Erfolg vollständig gewesen, nämlich dass die Antwort auf jede Frage dieser Art, auf den mathematischen Calcül zurückgeführt worden ist; dass sie also durch die Ausführung bestimmter, mit der Bezeichnung vorzunehmender Operationen geliefert wird.

Indessen glaube ich, wenigstens einiger der Berührungen erwähnen zu müssen, welche die Lehre vom Gleichgewichte mit sich äussernden Erscheinungen hat. Einer ihrer ersten Sätze fordert, dass, wenn die Bewegung einer Masse die Ursache der Bewegung einer anderen wird, die beiden Massen im umgekehrten Verhältnisse ihrer Bewegungen sind. Dieser Satz hat allem Maschinenwerke seine Entstehung gegeben, dessen Zweck ist, durch eine kleinere Masse eine grössere in Bewegung zu setzen. Von dieser Art sind Hebel, Winde, Flaschenzug, Räderwerk, Keil, Schraube, hydraulische Presse u. s. w.; weder eine dieser Einrichtungen, noch irgend eine andere, vermehrt die bewegende Kraft, sondern alle bringen nur hervor, dass eine kleinere Masse eine grössere, durch einen, im Verhältnisse ihrer Grössen kleineren Raum bewegt. Wenn auffallend ist, dass die hydraulische Presse, während einiger Minuten von einem Manne in Wirksamkeit erhalten, einen Balken von festem Holze zerbricht, so ist doch nichtsdestoweniger gewiss, dass der Mann alle dazu erforderliche Kraft selbst

geliefert hat; aber während er die Anstrengung gemacht hat, die er hätte machen müssen, um einen Centner 1000 Zoll hoch zu heben, hat der Apparat diese Anstrengung in eine andere verwandelt, welche 1000 Centner einen Zoll hoch hebt. Wenn nicht alle die genannten Einrichtungen gleich vortheilhaft sind, so ist der Grund davon nur, dass die von ihrer Anwendung unzertrennlichen Reibungen, bei der einen einen kleineren, bei der anderen einen grösseren Theil der bewegenden Kraft zerstören. — Ein anderer Satz der Statik lehrt, dass in jedem Körper, so wie, allgemeiner, in jeder körperlichen Verbindung, ein bestimmter Punkt, der Schwerpunkt, vorhanden ist, den merkwürdige Eigenschaften vor anderen Punkten auszeichnen: in welcher Lage gegen den Horizont ein Körper sich auch befinden mag, so ist die Unterstützung seines Schwerpunkts hinreichend, ihn in Gleichgewicht zu versetzen; die Richtung eines Fadens, an dem ein Körper aufgehängt ist, führt, wenn dieser ruhig hängt, immer auf den Schwerpunkt zu; wenn mehrere Körper, durch Fäden, Stäbe, Gelenke, oder wie man will, miteinander verbunden sind, so können sie nicht anders im Gleichgewichte sein, als wenn der gemeinschaftliche Schwerpunkt ihres verbundenen Systems die tiefste Stelle einnimmt, zu welcher er der Verbindungsart gemäss, gelangen kann. — Die Lehre vom Gleichgewichte bestimmt auch die Figuren von körperlichen Verbindungen, insofern sie von Kräften, die darauf wirken, abhängen: ein nicht gespannter, an beiden Enden befestigter Faden wird eine krumme

Linie, indem die Schwere jedes seiner Theilchen herabzieht; ein biegsamer, an einem Ende befestigter, oder an zwei oder mehreren Punkten aufliegender Stab, wird aus demselben Grunde krumm; eine Feder ändert ihre Figur wenn sie gebogen wird u. s. w. Da in diesen und in allen ähnlichen Fällen Gleichgewicht vorhanden ist, indem, so lange die Kräfte wirken, das Bestreben fehlt, die erlangten Figuren zu verändern, so fallen die Fragen nach diesen Figuren der Lehre vom Gleichgewichte anheim, die in der vorher besprochenen allgemeinen Bezeichnung der Bedingung des Gleichgewichts das Mittel findet, sie zu beantworten. Sobald daher das, was einen besonderen dieser Fälle von allen ihm ähnlichen Fällen unterscheidet, gegeben ist, wird die ihm entsprechende krumme Linie vollkommen bekannt; also vollkommener, als die verfeinertste Kunst sie materiell darzustellen vermag. Auch die Figur der Erde muss durch die Lehre vom Gleichgewichte bestimmt werden können, wenn alle an ihrer Oberfläche wirkenden Kräfte bekannt sind. Denn indem man diese Oberfläche als von einer Schichte ruhigen Wassers bedeckt, sich vorstellen kann, befindet sie sich im Gleichgewichte, und damit in einem Falle, in welchem eine Frage nie ohne Antwort bleibt. — Eine andere Gattung hiehergehöriger Fragen betrifft die Kraft, mit welcher ein Körper, dessen materielle Punkte nach Grösse und Gesetz bekannte anziehende oder abstossende Kräfte äussern, an einem beliebigen Punkte wirkt. Denn auch diese Fragen muss die Lehre vom Gleichgewichte

beantworten können, weil die Kraft des Körpers, wenn sie an dem Punkte, der sie erfährt, in entgegengesetzter Richtung angebracht wird, diesen in Gleichgewicht versetzt, ihre Bestimmung also aus der Bedingung des Gleichgewichts dieses Punkts hervorgeht. Fälle dieser Art sind die Bestimmung der Kräfte, welche sich an der Oberfläche der Erde äussern, und der Kräfte, womit diese auf den Mond und andere Himmelskörper, so wie auch der eine der letzteren auf den anderen, wirken. Der einfachste von allen ist der Fall einer Kugel, die entweder ganz homogen, oder aus homogenen concentrischen Schichten zusammengesetzt ist, und deren einzelne Massentheile dem allgemeinen Gesetze der Schwere gemäss anziehen. In diesem Falle geht aus der Lehre vom Gleichgewichte hervor, dass ein Punkt, wenn er sich entweder ausser der Kugel, oder auf ihrer Oberfläche befindet, genau so angezogen wird, als wäre ihre ganze Masse in ihrem Mittelpunkte vereinigt; ferner, dass ein Punkt in ihrem Inneren nur von der Kugel angezogen wird, deren Halbmesser seine Entfernung vom Mittelpunkte ist, dass er aber von jeder ihn umgebenden Schichte, nach entgegengesetzten Richtungen gleich starke, sich also gegenseitig vernichtende Anziehungen erfährt, er sich also auch allenthalben im Inneren einer Hohlkugel im vollkommenen Gleichgewichte befindet. — Das Gesagte wird hinreichen, seinen Zweck zu erfüllen, nämlich die Vielfältigkeit der Erscheinungen anzudeuten, über welche die Lehre vom Gleichgewichte ein Urtheil herbeiführt.

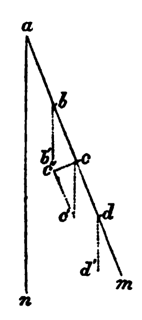
Ich gehe daher zu dem zweiten Theile der Mechanik, der Lehre von der Bewegung, der Dynamik über, zu einer ganz den Neueren angehörigen Wissenschaft, deren ersten Grund Galilaei gelegt hat. Immer wenn nicht Gleichgewicht stattfindet, also wenn eine Kraft zur freien Aeusserung gelangt, verwandelt sich entweder vorhandene Ruhe in Bewegung, oder eine vorhandene Bewegung in eine geänderte. Die Dynamik hat die Aufgabe, zu bestimmen, wo jedes Theilchen eines bewegten Körpers, oder körperlichen Systems sich jederzeit befindet. Die einfachsten Fälle von Bewegung sind nicht geeignet, den Umfang dieser Aufgabe anschaulich zu machen; aber wer sich erinnern will, wie ein gerade oder schief in die Höhe geworfener unregelmässiger Körper scheinbar ohne Regel fortschreitet und bald so, bald anders schwingt und dreht, dem wird schon eher anschaulich werden, dass die Aufgabe, von dieser Bewegung für jeden Augenblick vollständige Rechenschaft zu geben, zu denen gehört, die man nur mit gehöriger Ausrüstung anzugreifen wagen darf. Sie musste aber nicht nur angegriffen, sondern auch überwunden werden, wenn Einsicht in zahllose Erscheinungen der Natur erlangt werden sollte.

Die einfachste Bewegung, die eines Punkts, der mit unveränderlicher Geschwindigkeit in gerader Linie fortschreitet, bedingt, dass keine Kraft auf ihn wirkt, oder was gleichgültig damit ist, dass auf ihn wirkende Kräfte im Gleichgewichte sind; denn eine Kraft würde sich durch Veränderung, entweder der Geschwin-

digkeit oder Richtung, oder beider zugleich, offenbaren. — Wirkt eine Kraft in derselben Richtung, in welcher die Bewegung vor sich geht, so erhält sie offenbar keinen Einfluss auf die Richtung, verändert also nur die Geschwindigkeit. Sie erzeugt, in jeder gleichen Zeit, entweder immer gleiche, oder verschiedene Veränderungen der Geschwindigkeit, jenachdem sie selbst allenthalben in der durchlaufenen Linie gleich bleibt, oder sich verändert. Die Wirkung einer gleichbleibenden Kraft wird in dem Fallen der schweren Körper von einer Höhe herab anschaulich: in jeder Secunde während der Dauer des Fallens erzeugt sie eine gleiche Vermehrung der Geschwindigkeit, so dass diese, wenn der Körper aus der Ruhe fällt, am Ende der zweiten, dritten, vierten, ... Secunde zweimal, dreimal, viermal, ... so gross ist als am Ende der ersten; die Bewegung während jeder Secunde ist offenbar die halbe Summe der Geschwindigkeiten an ihrem Anfange und Ende. Wenn die sich in einer Secunde erzeugende Geschwindigkeit, durch Beobachtung bekannt geworden ist, so kennt man also auch die Bewegungen in den verschiedenen Secunden, und durch ihre Addition die ganze durchfallene Höhe. Auf ähnliche Art wird auch die Wirkung einer veränderlichen Kraft bekannt; der Unterschied ist nur, dass die Zusätze, die sie in jeder Secunde, zu der an ihrem Anfange vorhandenen Geschwindigkeit macht, nicht gleich bleiben, sondern sich der Veränderung der Kraft gemäss verändern. Man wird aber wohl

erwarten, dass die Mathematik, in ihrem Reichthume, leicht das Mittel gefunden hat, welches über die Bewegungen in den einzelnen Secunden hinweg, mit einem Schritte zu dem letzten Resultate führt. — Wirkt dagegen die Kraft in einer Richtung, die von der Bewegung verschieden ist, so lenkt sie den Punkt offenbar von der letzteren ab, und veranlasst ihn, da in jedem Augenblicke eine neue Ablenkung erfolgt, eine krumme Linie zu durchlaufen. Auch in diesem Falle, so wie in allen Fällen der Bewegung eines Punkts, sie mag das Resultat einer Kraft, oder mehrerer zugleich wirkender Kräfte sein, der Punkt mag frei oder genöthigt sein, einer gegebenen krummen Linie oder Fläche zu folgen — immer liegt die Zurückführung ihrer Kenntniss auf den mathematischen Calcül so nahe, dass sie schon zu den früheren Erfolgen der neueren Mathematik gehörte. — Aber die Lehre von der Bewegung soll sich nicht auf Punkte beschränken, sondern auch kennen lehren, wie Körper, und, allgemeiner, alle Verbindungen körperlicher Theile, fortschreiten, drehen, schwingen oder schwanken, die auf sie wirkenden Kräfte mögen beschaffen sein wie sie wollen.

Die Kenntniss des wahren, d. h. in allen Fällen genügenden Grundsatzes dieser Lehre, gehört erst der Mitte des vorigen Jahrhunderts an, zu welcher Zeit d'Alembert ihn entdeckte. Ich muss versuchen, ihn zu erläutern, was durch Verfolgung eines zum Beispiele gewählten Falls am leichtesten gelingen wird.



Man stelle sich eine gerade, unbiegsame Linie *a m* vor, welche die Mittelpunkte *b*, *c*, *d*, ... verschiedener Kugeln mit einander verbindet, und deren oberes Ende mit einem festen Punkte *a* so verbunden ist, dass sie sich um diesen Punkt drehen, also jede Kugel sich in dem Kreise bewegen kann, dessen Halbmesser ihre Entfernung von *a* ist. Im Zustande des Gleichgewichts fällt die Linie mit der Lothlinie *a n* des festen Punkts zusammen, weil dann der gemeinschaftliche Schwerpunkt aller Kugeln so niedrig als möglich ist. Wird sie, in anderer Lage *a m*, der Kraft überlassen, welche das Fallen der schweren Körper verursacht, so entsteht Bewegung, und zwar die einzig mögliche, die drehende um *a*, denn die Festigkeit dieses Punkts verhindert jede andere. Wenn diese Kraft, die gleiches Fallen aller Kugeln verursachen würde, wenn sie sich frei äussern könnte, durch die gleichen, sämmtlich in ihrer Richtung liegenden Linien bb', cc', dd', ... dargestellt wird, so kann sie in zwei Theile, z. B. für die Kugel *c* in $c''c'$ und cc'' zerlegt werden, deren einer *a m* parallel, der andere senkrecht darauf ist. Der erste Theil, der die Kugel *c* von *a* zu entfernen strebt, wird durch die Festigkeit ihrer Verbindung mit *a* unwirksam, der zweite aber strebt sie in seiner Richtung, der senkrechten auf *a m*, zu bewegen; was hier von einer Kugel gesagt ist, gilt von allen, und alle erhalten dadurch gleiches Bestreben, sich in der auf *a m* senk-

rechten Richtung zu bewegen. Allein gleiche Bewegung können alle Kugeln nicht annehmen, indem der feste Punkt *a* ungleiche nothwendig macht, nämlich eine kleinere der näheren, eine grössere der entfernteren, indem er also bei einigen Verluste an den Bewegungen, die sie ohne ihre Verbindung untereinander annehmen würden, bei anderen Gewinne verursacht; welche Verluste und Gewinne allein aus der vorhandenen Verbindung hervorgehen, nicht etwa aus vorhandenen Kräften, oder, wenn man solche annehmen will, aus gegenseitig im Gleichgewichte befindlichen, d. h. auf die Bewegung des Ganzen keinen Einfluss erhaltenden. Indem man nun auf jede Kugel eine Kraft wirkend annehmen kann, welche durch ihre Wirkung denselben Verlust oder Gewinn an Bewegung erzeugen würde, der wirklich aus der Verbindung hervorgeht, so sagt das Vorhergehende, dass die so angenommenen, auf die verschiedenen Kugeln wirkenden Kräfte untereinander im Gleichgewichte sein müssen. — Was hier, um es anschaulicher zu machen, von Einem Falle gesagt ist, gilt nicht minder von jedem anderen, in welchem die vorhandenen Verbindungen Ursache werden, dass die auf jeden Punkt wirkenden Kräfte ihre Wirkungen nicht frei äussern können: immer sind die Kräfte, welche die verlorenen oder gewonnenen Bewegungen der einzelnen Massentheile eines beliebigen Systems zu erzeugen fähig sind, untereinander im Gleichgewichte. Dieses ist der von d'Alembert entdeckte Grundsatz, dessen Entdeckung möglich gemacht hat, jede Aufgabe, welche die Be-

wegungen eines körperlichen Systems zum Gegenstande hat, in eine andere zu übersetzen, welche der Lehre vom Gleichgewichte angehört; einer Lehre, von welcher wir schon wissen, dass sie nie die Antwort auf eine an sie gerichtete Frage schuldig bleibt.

Hieraus wird klar, dass auch die Dynamik auf dieselbe beherrschende Höhe gelangt ist, auf welcher die Statik sich befindet. Weder der einen noch der andern kann eine Aufgabe vorkommen, die sie nicht aufzulösen, d. h. auf den mathematischen Calcül zurückzuweisen vermöchte. Gleich unsterblich sind Laganges Verdienste um beide Lehren. Auch von der Bedingung der Bewegung hat er nicht allein die allgemeine, von jeder Beziehung zu dem Besonderen eines Falls freie, mathematische Bezeichnung gegeben, sondern auch Methoden erdacht, die von dieser gemeinschaftlichen Quelle aller Erkenntniss der Bewegungen, auf dem geradesten Wege zu dem Besonderen führen, was jedem gegebenen Falle entspricht.

Es ist indessen nicht in jedem einzelnen Falle nöthig, bis zu dieser gemeinschaftlichen Quelle zurückzugehen, denn man kann aus ihr Gesetze schöpfen, deren jedem eine Menge von Fällen untergeordnet sind. — Zuerst nenne ich das Gesetz der Bewegung des Schwerpunkts, welches fordert, dass der gemeinschaftliche Schwerpunkt jeder Verbindung von materiellen Theilen sich genau so bewegt, als wäre alle Masse in ihm vereinigt, und als wirkten die, wirklich auf die einzelnen Theile wirkenden Kräfte auf ihn. — Dieses Gesetz zeigt eine überraschende

Eigenschaft der schon erwähnten Bewegung eines unregelmässigen in die Höhe geworfenen Körpers: während er ohne Regel fortzuschreiten, zu schwingen und zu drehen scheint, bewegt sich ein bestimmter Punkt in ihm, sein Schwerpunkt, genau so einfach, wie der Mittelpunkt einer aus seiner ganzen Masse geformten Kugel sich bewegen würde, falls dieselben äusseren Kräfte auf sie wirkten, die auf seine einzelnen Theile wirklich wirken. Das Gesetz hört nicht auf, vollkommen wahr zu sein, wenn statt des festen Körpers eine beliebige Verbindung körperlicher Theile gedacht wird; denn auch alle inneren Veränderungen des Systems beeinträchtigen seine Wahrheit nicht. Ein Beispiel hiervon mögen einige, durch Fäden verbundene Körper geben: werden sie, zusammengefasst, gerade oder schief in die Höhe geworfen, so erlangt dadurch ihr gemeinschaftlicher Schwerpunkt eine Bewegung, die er, ohne Rücksicht auf die gleich entstehende Trennung der Anfangs zusammengefassten Körper von einander, auf die spätere Beschränkung ihrer Entfernungen durch die Fäden, auf ihre Stösse aneinander — ohne alle Störung so fortsetzt wie das Gesetz verlangt. — Wir wissen nicht, und werden nie wissen, durch welches Mittel der Wille die Muskeln zur Zusammenziehung oder Ausdehnung bringt; aber wir wissen durch das gegenwärtige Gesetz, dass ihre Zusammenziehung oder Ausdehnung keinen Einfluss auf die Bewegung des Schwerpunkts des Systems erhält, zu welchem eine Muskelwirkung äussernder Körper gehört. Ein von einer Höhe fallender oder

springender Mensch mag, nachdem er sie verlassen hat, durch eigene Muskelbewegung wohl bewirken, dass dieser oder jener Theil seines Körpers den Boden zuerst berührt, aber seine Anstrengungen können die Bewegung seines Schwerpunkts nicht um die Breite eines Haars verändern; bei welcher Behauptung jedoch die durch seine Bewegungen erzeugten Bewegungen der — genau genommen mit zu dem bewegten Systeme gehörenden — Luft, als verhältnissmässig unbedeutend, unbeachtet geblieben sind. — Wenn ein Himmelskörper durch innere Kräfte zersprengt würde, so würde jeder der sich trennenden Theile zwar eine andere Bahn beschreiben, aber der gemeinschaftliche Schwerpunkt aller Theile würde sich jederzeit genau an dem Orte befinden, wohin der ganze Körper, ohne die Zersprengung gelangt sein würde.

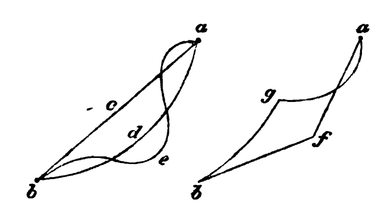
Dieses in unzähligen Fällen sinnlich werdende Gesetz, bringt offenbar hervor, dass jede Frage nach der Bewegung eines körperlichen Systems in zwei Theile zerfällt, deren einer die Bewegung seines Schwerpunkts betrifft, der andere die Bewegungen um diesen Punkt. Wenn man von den Oertern, wo sich einer der materiellen Punkte des Systems am Anfange und am Ende einer sehr kurzen Zeit befindet, senkrechte Linien auf eine beliebige, durch den Schwerpunkt gelegte Ebene fället, und die Punkte wohin sie treffen, sowohl untereinander als auch mit dem Schwerpunkte, durch gerade Linien verbindet, so heisst das von ihnen eingeschlossene Dreieck, die (der angenommenen Zeit zugehörige) Winkelfläche des

materiellen Punkts. Von dem anderen Theile der Frage, nämlich von der Bewegung jedes auf beliebige Art verbundenen Systems um seinen Schwerpunkt, gilt nun das Gesetz der Winkelflächen, welches fordert, dass die Summe der Winkelflächen aller seiner materiellen Punkte, im Verlaufe der Zeit stets gleiche Grösse behält, welche Bewegungen untereinander die Punkte des Systems auch erfahren mögen; vorausgesetzt, dass das System keine Hinderungen von nicht zu ihm gehörigen Körpern erfährt. — Auch diesem Gesetze sind zahlreiche Erscheinungen untergeordnet. Ein sich um eine lothrechte Axe drehender fester Körper behält die Geschwindigkeit, mit welcher er in Drehung gesetzt wird, unveränderlich, vorausgesetzt, dass er durch nichts Aeusseres gehemmt wird. Wenn ein Versuch seine unveränderliche Drehung nicht anschaulich macht, vielmehr zeigt, dass sie langsamer wird und endlich aufhört, so ist dieses nothwendig, weil die mehr oder weniger hemmende Reibung der Drehungsaxe nie ganz weggeschafft werden kann und weil die umgebende Luft die freie Drehung hindert; die anfängliche Drehung kann übrigens durch die Anwendung geeigneter Mittel zur Verkleinerung beider Hindernisse des reinen Hervortretens des Gesetzes, zu lange anhaltender Fortsetzung gebracht werden. Wäre der drehende Körper kein fester, sondern enthielte er einen beweglichen Theil, der sich, vermöge einer geeigneten Einrichtung, nach und nach der Drehungsaxe näherte, so würde die Drehung sich beschleunigen; denn da das Gesetz fordert, dass die

Summe der Winkelflächen unveränderlich erhalten werde, und die Winkelfläche des beweglichen Theils durch seine Annäherung an die Drehungsaxe abnimmt, so müssen die Winkelflächen der festen Theile zunehmen, was nur durch Beschleunigung der Drehung geschehen kann. — Ohne Störung durch Reibung und Widerstand zeigt sich das Gesetz in der Länge des Tages, welche die Untersuchung der ältesten astronomischen Beobachtungen nicht als veränderlich hat erkennen lassen, obgleich eine Aenderung der Umdrehungszeit der Erde schon merklich geworden sein würde, wenn sie in 2000 Jahren auch nur bis auf ein oder ein Paar Tausentel einer Secunde angewachsen wäre. Auch die Bewegungen der Körper des Sonnensystems sind dem Gesetze untergeordnet: wie gross auch die Veränderungen der Figuren und Lagen ihrer Bahnen im Laufe der Zeit werden mögen, immer wird die Summe der Winkelflächen aller dieser Körper denselben Werth behalten, den sie heute hat.

Ein drittes Gesetz, das Gesetz der lebendigen Kraft ist nicht minder umfangreich als die beiden vorigen. Das Product einer Masse und des Quadrats ihrer Geschwindigkeit heisst die lebendige Kraft der ersteren; die Summe der lebendigen Kräfte eines Systems von Massen heisst die lebendige Kraft des Systems. Unter den Voraussetzungen, dass nur anziehende oder abstossende Kräfte, nicht aber Widerstände und Reibungen auf das System wirken, und dass keiner seiner Theile plötzliche Aenderungen

seiner Bewegung erfährt, fordert das ausgesprochene Gesetz, dass die lebendige Kraft des Systems jederzeit allein von den Oertern seiner Theile im Raume abhängt, die Art ihres Gelangens zu diesen Oertern aber keinen Einfluss darauf erhält; ferner, dass jede plötzliche Aenderung der Bewegung sie vermindert. — Einer der einfachsten, diesem Gesetze untergeordneten Fälle ist die Bewegung einer Kugel, die man in einer Röhre von einem Punkte *a* zu einem anderen *b* laufen lässt: wenn ihre Reibung in der Röhre und der Widerstand den ihre Bewegung durch die Luft erfährt, ausser Acht gelassen werden, so langt sie dem Gesetze zufolge, auf jedem ununterbrochenen Wege, z. B. *acb*, *adb*, *aeb*, mit gleicher Geschwindigkeit in *b* an; dagegen auf jedem, plötzlich seine Richtung ändernden, z. B. *afb*, *agb*, mit einer kleineren.



Ich habe vorher angeführt, dass keine mechanische Einrichtung Kraft vermehren kann; jetzt berechtigt mich das Gesetz der lebendigen Kraft, auch zu behaupten, dass keine mechanische Einrichtung Bewegung erzeugen oder vorhandene vermehren kann. Viele, die ihre Anstrengungen verschwendet haben, das Perpetuum mobile zu erfinden, haben dieses Gesetz nicht gekannt; ich glaube einige Augenblicke verwenden zu dürfen, um seine Anwendung auf

den gegenwärtigen Fall zu verfolgen. Dem Gesetze gemäss gelangt jedes Körpersystem, welches alle seine Theile zu verschiedenen Zeiten in gleiche Lage zurückführen kann, und dessen Bewegung weder plötzliche Aenderungen, noch Widerstand und Reibung erfährt, jederzeit mit gleicher lebendigen Kraft in diese Lage; woraus folgt, dass jeder ohne Widerstand und Reibung drehende feste Körper, am Ende einer ganzen Umdrehung dieselbe Drehungsgeschwindigkeit besitzt, die er an ihrem Anfange besass; dass er also seine anfängliche Drehungsgeschwindigkeit ohne Ende fortsetzt. Aber dieser Fall kann nicht künstlich hervorgebracht werden: selbst wenn die Bewegung im leeren Raume vor sich ginge und dadurch von dem Widerstande der Luft befreiet würde, würde die nie fehlende Reibung der Drehungsaxe sie fortwährend verzögern und endlich vernichten. So einfach konnte also kein beabsichtigtes Perpetuum mobile sein; vielmehr musste die Absicht verfolgt werden, statt eines festen Körpers einen zu erfinden, dessen innere Veränderungen während der Drehung, lebendige Kraft erzeugten, wenigstens so viel davon, als erforderlich ist, das zu ersetzen, was Widerstand und Reibung zerstören. Dass auch diese Erfindung nicht gelingen kann, zeigt das Gesetz dadurch, dass es nicht von festen Körpern allein, sondern allgemein von körperlichen Systemen gilt; wodurch es berechtigt, jeder angeblichen Erfindung dieser Art, selbst vor ihrem Bekanntwerden, die Behauptung ihrer Unmöglichkeit entgegenzusetzen Uebrigens mag der

Schein der Wirksamkeit einer projectirten Einrichtung oft so verführerisch gewesen sein, dass er ein, sich nicht auf das allgemeine Gesetz gründendes Urtheil irre führen konnte. Ich erinnere mich z. B., dass ein zwischen zwei Säulen, um eine wagerechte Axe drehendes Rad, vor etwa 40 Jahren Aufsehen machte, indem jeder seiner Beschauer zu begreifen glaubte, dass es durch seine Einrichtung fähig werden müsse, seine Drehung unaufhörlich fortzusetzen. An seinem Umfange war nämlich eine Anzahl an Gelenke beweglicher Massen angebracht, die, aufgerichtet, über den Umfang hinaus standen, niedergelegt mit diesem zusammenfielen; oben, zwischen den Säulen, war ein Stift, der jede niedergelegte Masse, indem sie bei der Drehung des Rades zwischen den Säulen durchging, aufrichtete; unten war ein zweiter Stift, der die aufgerichtet ankommenden Massen niederlegte. Aus dieser Beschreibung geht hervor, dass, wenn das Rad sich drehete, die Massen auf der einen Seite der Säulen immer sämmtlich aufgerichtet, die auf der andern sämmtlich niedergelegt waren, dass also die erste Seite ein Uebergewicht über die zweite besass und daher das Bestreben äusserte, das Rad zu drehen; so wie es sich aber drehete, wurde unten eine Masse niedergelegt, oben eine aufgerichtet und dasselbe Bestreben trat wieder wie vorher ein u. s. w. Dennoch lässt das Gesetz nicht zweifelhaft, dass dieser Apparat keine Drehungsgeschwindigkeit erzeugen kann, sogar dass er vorhandene vermindern muss; das letztere, weil seine Einrichtung

plötzliche Veränderungen der Bewegung der Massen zur Folge hat, indem diese, niedergelegt, einen Kreis von kleinerem, aufgerichtet einen von grösserem Halbmesser beschreiben, und der Uebergang von dem einen zum andern nicht ohne jene plötzliche Aenderung erfolgt. Der Apparat hat daher, weit entfernt die lebendige Kraft zu vermehren, sie vermindert, er hat weniger geleistet, als das Rad ohne die ihre Vermehrung beabsichtigenden beweglichen Massen geleistet haben würde. Die Aufklärung des scheinbaren Widerspruchs zwischen der Erwartung und diesem Erfolge bleibt auch nicht verborgen, wenn die Wirkung des Apparates durch den Calcül verfolgt wird: dieser zeigt dann, dass die zum Aufrichten und Niederlegen der Massen verwandte lebendige Kraft wirklich grösser ist, als die durch das Uebergewicht der einen Seite des Rades über die andere gewonnene; er bestimmt Verlust und Gewinn ihrer Grösse nach und giebt vollständige Rechenschaft von der Bewegung des Ganzen in jedem Augenblicke; er lässt also nichts zu wünschen übrig. — Da Viele, trotz des Gesetzes der lebendigen Kraft, den Apparat im Gange gesehen und bewundert haben, so ist gewiss, dass irgend eine Taschenspielerei sie getäuscht hat; deren Entdeckung jedoch kein grösseres Interesse befriedigen kann, als die Erklärung aller Taschenspielereien. — Ich würde dieses, an sich unerheblichen Gegenstandes nicht erwähnt haben, wenn er mir nicht die willkommene Gelegenheit gegeben hätte, eins der Gesetze der Dynamik in seinem Erfolge anschaulich zu machen; ich weiss

übrigens nicht, ob man, ohne sichere Leitung durch mathematisches Raisonnement, nicht hätte in Gefahr gerathen können, auf die Seite der Beschauer des sich drehenden Rades zu treten und trügerischen Schein für Wirklichkeit zu halten.

Indem das Gesetz der lebendigen Kraft zeigt, dass in keinem Falle lebendige Kraft erzeugt, im Falle jeder plötzlichen Aenderung — auch einer scheinbar günstigen — mehr oder weniger davon zerstört wird, lehrt es, dass jede unstetige Bewegung, jedes Klappern oder Rasseln einer Maschine, nutzbare Bewegung zerstört; wesshalb auch eines umsichtigen Maschinenmeisters Bestreben ist, solchen Verlust zu vermeiden. — In den Bewegungen des Planetensystems ist nirgends eine Verminderung der lebendigen Kraft bemerkt worden; plötzliche Aenderungen kommen dort eben so wenig vor, als Reibungen von Drehungsaxen. Die ungeänderte Erhaltung der lebendigen Kraft würde aber auch nicht stattfinden, wenn die Bewegungen der Planeten einen merklichen Widerstand erführen; dessen Vorhandensein also durch ihr Stattfinden verneint wird.

Ich werde von den Gesetzen der Bewegung genug gesagt haben um ihre Bedeutung zu erläutern, und wende mich daher zu einem andern Erfordernisse der Kenntniss jeder Bewegung, nämlich zu der Kenntniss ihres anfänglichen Zustandes. Offenbar muss dieser gegeben sein, wenn die Bewegung bekannt werden soll. Z. B. durchläuft eine Kugel, jenachdem sie in grösserer oder kleinerer Neigung gegen den Horizont geworfen wird, jenachdem ihre

Wurfgeschwindigkeit grösser oder kleiner ist, sehr verschiedene krumme Linien, unter welchen die, die sie wirklich durchläuft, erst durch die Kenntniss des anfänglichen Zustandes der Bewegung bekannt wird. Immer wenn die wirkenden Kräfte gegeben sind, soll die Dynamik die Theorie der Bewegung liefern — die Regel, welcher, in allen Fällen in welchen Kräfte auf gleiche Art wirken, die Bewegung folgt, und welche die jedem besonderen Falle entsprechende wird, indem sie dem, diesem Falle eigenthümlichen anfänglichen Zustande angepasst wird. Diese Theorie muss daher, wenn sie vollständig, d. h. auf jeden der Fälle anwendbar sein soll, so viele unbestimmte Grössen enthalten, als zur Unterscheidung eines anfänglichen Zustandes von jedem anderen erforderlich sind; für die Bewegung eines Punkts z. B. muss sie deren sechs enthalten, weil drei zur Bestimmung des Orts wo diese anfängt, und drei zur Bestimmung der anfänglichen Geschwindigkeit erforderlich sind. *) Da sie sowohl den Ort des bewegten Punktes, als auch seine Geschwindigkeit und ihre Richtung, also gleichfalls sechs Grössen für jede Zeit bestimmen soll, so besteht sie aus sechs Rechnungsvorschriften, welche,

*) Eine der drei ersteren kann die Entfernung des Anfangspunkts der Bewegung von dem beliebigen Punkte, auf welchen man seine Bestimmung beziehen will, sein, die zweite kann die Richtung der, beide Punkte verbindenden Linie gegen die Weltgegenden, die dritte ihre Neigung gegen den Horizont bezeichnen; ferner eine der drei anderen die Grösse der Geschwindigkeit, die zweite ihre Richtung gegen die Weltgegenden, die dritte ihre Neigung gegen den Horizont.

durch die jedem Falle angemessenen Werthe der in ihnen unbestimmt gelassenen sechs Grössen, für diesen Fall gültig werden, und durch ihre Ausführung für eine beliebige Zeit, den Ort und die Grösse und Richtung der Bewegung für diese Zeit bestimmen. — Für den Zustand der Bewegung, der hier der anfängliche genannt ist, kann der zu irgend einer bestimmten Zeit vorhandene genommen werden; denn die Art der Entstehung der zu dieser Zeit vorhandenen Bewegung, hat auf die Art ihrer Fortsetzung offenbar keinen Einfluss: die vollständige Kenntniss einer Bewegung fordert also, dass man sie für irgend eine bestimmte Zeit kenne, gleichviel ob diese die Zeit ihres Anfanges oder eine andere ist. Die Erlangung dieser Kenntniss ist der Lehre von der Bewegung fremd: diese liefert nur die allgemeine Theorie aller aus gleichen Kräften hervorgehenden Bewegungen, verweiset aber ihre Verwandlung in die besondere jedes Falls, an die Mittel, welche geeignet sind, das Unterscheidende dieses Falls kennen zu lehren. So giebt z. B. diese Lehre die allgemeine Theorie der Planetenbewegung um die Sonne, verweiset aber die Erfindung der besonderen Theorien der einzelnen Planeten an die Beobachtungen der Astronomen. — Was hier von der Bewegung eines Punkts gesagt ist, kann auf jeden Fall einer Bewegung ausgedehnt werden: die allgemeine Theorie der Bewegung eines Körpers muss z. B. zwölf unbestimmte Grössen enthalten, nämlich sechs für die Bewegung seines Schwerpunkts und sechs für seine

Bewegung um diesen; für zusammengesetzte Systeme kann ihre Zahl immer angegeben werden. In jedem Falle ist die wirkliche Bewegung das Ergebniss der anfänglichen und der vorhandenen Kräfte.

Zum Schlusse muss ich noch den Sinn näher bezeichnen, den die ausgesprochene, umfangreiche Behauptung hat, dass beide Lehren der Mechanik, die vom Gleichgewichte und die von der Bewegung, im Stande sind, jede an sie gerichtete Frage zu beantworten. Der Sinn ist, wie ich auch schon gesagt habe, dass jede dieser Fragen in eine bestimmte Forderung verwandelt werden kann, die der mathematische Calcül zu erfüllen hat. Die Erfüllung liegt ausser dem Gebiete der Mechanik: der Calcül mag sie gewähren oder versagen — in beiden Fällen hat die Mechanik das Ihrige gethan. Von dem Calcül mag hier erwähnt werden, dass, durch die, grösstentheils ihm zugewandten, Anstrengungen des mathemathischen Scharfsinns des vorigen und des jetzigen Jahrhunderts, seine anfänglichen Kräfte zu einer damals unglaublichen Stärke gelangt sind; so dass er in den Stand gekommen ist, die von der Mechanik an ihn gerichteten, oft nicht bescheidenen, oft ihn zu neuen Fortschritten veranlassenden Forderungen, in den meisten Fällen zu befriedigen. Aber die Befriedigung einiger derselben ist bis jetzt noch nicht so genügend, dass sie nicht noch etwas zu wünschen — also auch zu suchen — übrig liesse; und eine ist fast ganz ausser dem Bereiche des Calcüls geblieben. Dieses ist die Forderung, die er befriedigen muss, wenn die Bewegung

der Flüssigkeiten bekannt werden soll. Nur wenn diese Bewegung in sehr kleinen Schwingungen besteht, ist sie dem Calcül zugänglich geworden. Mit Ausnahme dieses Falls, wissen wir daher von der Bewegung der Flüssigkeiten nicht mehr, als was wir unmittelbar davon gesehen haben. Doch muss ich bemerken, dass hier, ausser den Schwierigkeiten des Calcüls noch andere zu überwinden sind.

Astronomische Beobachtungen.

Eine Kugeloberfläche von willkürlicher Grösse, in deren Mittelpunkte sich das Auge eines Beobachters befindet, heisst seine Himmelskugel. Sie gewährt das natürlichste Mittel zur Bezeichnung der Richtung von dem Auge nach jedem Punkte A; denn diese wird vollkommen deutlich durch den Punkt, wo die von dem Mittelpunkte C der Kugeloberfläche nach A gelegte gerade Linie die letztere durchschneidet. Die Entfernung des Punkts A vom Auge (CA) kommt dabei nicht in Betracht, sondern allein seine Richtung; so dass auch alle Punkte, welche, nahe oder fern, in der geraden Linie CA liegen, an einem Punkte der Himmelskugel erscheinen. Indem die Vorstellung der Himmelskugel, die Bezeichnung der Richtung jedes beliebigen Punkts ganz von der Angabe seiner Entfernung trennt, findet sie immer Anwendung, wenn allein die Richtungen von dem Auge nach beliebigen Punkten in Betracht gezogen werden sollen.

Die Durchschnittslinie einer Kugeloberfläche und einer Ebene ist ein Kreis; ein grösster Kreis wenn die Ebene durch den Mittelpunkt geht; ein

desto kleinerer, je weiter sie sich von dem Mittelpunkte entfernt. Indem durch zwei Punkte *A*, *B* und das Auge *C* eine Ebene gelegt werden kann und diese die Kugeloberfläche in einem grössten Kreise durchschneidet, so können die Bezeichnungen der beiden Punkte auf ihr, immer durch den Bogen eines grössten Kreises verbunden werden, welcher Bogen den Winkel zwischen den nach seinen Endpunkten gelegten Radien, also zwischen den Gesichtslinien nach *A* und *B*, misst. Dieser Bogen oder der ihm zugehörige Winkel bestimmt also die Entfernung der Richtungen nach beiden Punkten; seine Grösse wird in 360teln des ganzen Umfanges des Kreises oder Graden, in 60teln des Grades oder Minuten, in 60teln der Minute oder Secunden, und endlich in Brüchen der Secunde angegeben.

Die Richtung des Fadens eines, auf das Auge des Beobachters treffenden Lothes bestimmt, an der Himmelskugel, oben den Scheitelpunkt oder das Zenith, unten den Fusspunkt oder das Nadir. Die durch das Auge gelegte Ebene, auf welcher die Lothlinie senkrecht ist, heisst die Ebene des Horizonts, der ihr entsprechende grösste Kreis der Himmelskugel heisst der Horizont. So wie Zenith und Nadir durch die Richtung des Lothfadens unmittelbar sinnlich werden, so wird es die Ebene des Horizonts durch die ruhige Oberfläche einer Flüssigkeit; denn dass die mit jener übereinstimmende Richtung der Schwere senkrecht auf dieser ist, geht aus der absoluten Beweglichkeit der Theile der Flüssigkeit her-

vor, welche in Folge jeder schief auf sie wirkenden Kraft in Bewegung gerathen würden. Wenn man sich den Scheitelpunkt und Horizont an der inneren Seite der Kugeloberfläche bezeichnet vorstellt, und dann Richtungslinien nach allen Fixsternen legt, so ergiebt die Bezeichnung der Punkte, wo diese die Oberfläche durchschneiden, ein treues Bild der Lage der Fixsterne untereinander und gegen den Scheitelpunkt und Horizont. Dieses Bild bleibt aber nicht treu; eine Stunde später sieht man, dass die Sterne sich beträchtlich von ihren vorigen Oertern, in unseren Gegenden der Erde im Allgemeinen nach der rechten Seite bewegt haben, dass die östlichen sich von dem Horizonte entfernt, die westlichen sich ihm genähert haben. Aber trotz dieser Bewegung, findet sich die Lage der Fixsterne untereinander nicht geändert, sondern nur ihre Lage gegen den Scheitelpunkt und Horizont hat eine Aenderung erfahren. Hieraus folgt, dass man das frühere Bild, durch eine Bewegung der ganzen Kugeloberfläche, wieder in Uebereinstimmung mit dem Himmel bringen kann. Durch aufmerksame Verfolgung dieser Bewegung hat man erkannt, dass sie höchst einfach, nämlich eine Drehung um eine, gegen den Horizont festliegende Axe ist; so dass die Drehung der Kugel um diese Axe auch hinreicht, jeden Fixstern in der Verlängerung des Radius des ihn abbildenden Punkts zu erhalten.

Der Punkt der Himmelskugel, welcher der Richtung der Drehungsaxe entspricht, heisst ihr Pol;

seine Entfernung von dem Horizonte heisst die Polhöhe. Offenbar hat die Himmelskugel zwei, einander gerade entgegengesetzte Pole, den Nordpol und den Südpol, deren erster über, der andere unter unserem Horizonte liegt. Der grösste Kreis der durch den Scheitelpunkt und den Pol geht, heisst der Mittagskreis oder Meridian. Indem jeder Fixstern, bei der Drehung der Kugel, einen Kreis um den Pol beschreibt, wird der Ort des letzteren durch die Aufsuchung des Mittelpunkts des von einem dieser Sterne beschriebenen Kreises bekannt. Wenn sich ein Fixstern in der Richtung der Drehungsaxe befände, so würde er keine Bewegung zeigen, also den Pol unmittelbar versinnlichen.

Die einem der Pole näheren Fixsterne durchlaufen kleinere, die entfernteren grössere Kreise; den grössten Kreis — den Aequator — durchlaufen die von beiden Polen gleich entfernten, die sich in der Ebene befinden, welche, senkrecht auf die Drehungsaxe, durch das Auge des Beobachters gelegt wird. Die auf der Himmelskugel gemessene Entfernung eines Sterns von dem Aequator heisst seine Abweichung oder Declination, und die Seite des Aequators, auf welcher er sich befindet, wird durch den Zusatz nördliche oder südliche unterschieden. Der durch den Pol und einen Stern gelegte grösste Kreis heisst der Declinationskreis des letzteren; offenbar geht er durch beide Pole und durchschneidet den Aequator in rechten Winkeln. Der Winkel am Pole zwischen den Declinationskreisen zweier Sterne, oder der

Winkel zwischen den durch die Drehungsaxe und die Sterne gelegten beiden Ebenen, heisst der Geradeaufsteigungs- oder Rectascensionsunterschied. Geradeaufsteigung oder Rectascension eines Sterns, heisst sein Geradeaufsteigungsunterschied von dem Punkte des Aequators, an welchem die Bewegungslinie der Sonne diesen durchschneidet, wenn ihre südliche Abweichung in nördliche übergeht; welcher Punkt selbst der Frühlingsnachtgleichenpunkt heisst.

Die Drehung aller Fixsterne um ihre gemeinschaftliche Drehungsaxe geht mit unveränderlicher Geschwindigkeit vor sich. Indem jeder von ihnen stets denselben Kreis durchläuft, verstreicht zwischen zwei aufeinanderfolgenden seiner Durchgänge durch irgend einen bestimmten Punkt dieses Kreises, immer eine gleiche Zeit, welche ein Sternentag genannt und wie der gewöhnliche Tag in Stunden, Minuten und Secunden eingetheilt wird. — Da also die Fixsterne sich dem Beobachter zeigen, als befänden sie sich an festen Punkten der inneren Seite einer Kugeloberfläche, welche sich, mit stets gleicher Geschwindigkeit, um eine gegen den Horizont feste Axe, von links nach rechts drehet, so erhält die Aufgabe, den Ort zu bestimmen, welchen einer von ihnen, beziehungsweise auf den Horizont und Meridian, zu einer beliebigen Zeit hat, eine höchst einfache Auflösung: diese zerfällt nämlich in zwei Theile, deren einer die Bestimmung des Punkts fordert, wo der Stern sich an der inneren Seite jener Kugeloberfläche befindet,

der andere, dass derselben die der Zeit entsprechende Lage gegen den Horizont gegeben werde. Offenbar gilt dasselbe für jedes Gestirn, nicht minder für ein unter den Fixsternen fortschreitendes, als für einen Fixstern. Nur der erste Theil, die Bestimmung des Orts des Gestirns an der Himmelskugel, an welcher die Fixsterne fest sind, kommt in Betracht, wenn nicht nach seiner Stellung gegen den Horizont und Meridian gefragt wird. Auch wenn man diese kennen lernen will, darf man die gegen den Horizont feste Himmelskugel ganz ausser Betracht lassen, indem man dem Scheitelpunkte (und mit ihm dem Horizonte und Meridiane), dieselbe Bewegung an der Himmelskugel der Fixsterne beilegt, welche diese in Beziehung auf den Scheitelpunkt zeigt. Daher wird immer nur von einer Himmelskugel, nämlich der der Fixsterne, auf welcher der Scheitelpunkt beweglich ist, geredet. — Ich habe dieser Darstellung der Begriffe von der Himmelskugel hier eine Stelle eingeräumt, um aus den — ohne lästige Umschreibungen nicht vermeidlichen — Kunstwörtern keine Undeutlichkeit entstehen zu lassen.

Die Astronomie hat die Aufgabe, Alles kennen zu lehren, was uns von den Bewegungen und der Beschaffenheit der Himmelskörper, einschliesslich des Erdkörpers bekannt werden kann. Für jetzt soll von den Bewegungen die Rede sein, welche die Astronomie nur kennen lehren kann, indem sie Regeln liefert, aus deren Anwendung für eine beliebige Zeit, der Ort hervorgeht, welchen jeder der Himmelskörper

dann im Raume einnimmt. Offenbar kann das Unterscheidende der Bewegung eines Himmelskörpers von der eines anderen, nur durch ihn betreffende Beobachtungen erkannt werden, und zwar nur durch Beobachtungen seiner Oerter an der Himmelskugel, indem nur die Richtungen in welchen er erscheint, nicht seine Entfernungen, unmittelbar aufgefasst werden können. Von einer beobachteten Anzahl seiner Richtungen soll also die Astronomie, durch eine Reihe von Schlüssen, zu den Regeln führen, welche seinen Ort im Raume für jede Zeit bestimmen. Wir finden daher die Astronomen zuerst bemüht, dem Himmel solche Beobachtungen abzugewinnen; dann, die Regeln aufzusuchen, deren Erfindung ihre Aufgabe ist.

Jeder durch Beobachtung ausgemittelte Ort an der Himmelskugel, muss als eine Annäherung an den Ort, den der beobachtete Himmelskörper, zur Zeit der Beobachtung wirklich einnahm, angesehen werden; denn unser Auge und die Hülfsmittel, durch welche eine von ihm aufgefasste Richtung bestimmt wird (z. B. durch Rectascension und Declination), legen nie absolutes, sondern immer nur innerhalb gewisser Grenzen sicheres, Zeugniss für sie ab. Diese Grenzen sind zwar, im Laufe der Zeit, von Brüchen eines Grades, bis zu ähnlichen Brüchen einer Secunde eingeengt worden, aber die Beobachtungen haben dadurch weder aufgehört, noch werden sie je aufhören, Annäherungen an die Wahrheit zu sein.

Auch die Natur der Regeln, welche die Astronomie liefern soll, muss ich hier zu erläutern suchen;

denn zwischen ihnen und den Beobachtungen findet eine Wechselwirkung statt, welche man kennen muss, um das was ich von den letzteren zu sagen haben werde, richtig zu verstehen. Immer liegt ihnen eine allgemeine, d. h. allen einander ähnlichen Fällen gemeinschaftliche, Theorie zum Grunde, welche, indem sie auf einen bestimmten Himmelskörper angewandt wird, die besondere Theorie seiner Bewegung, oder die von der Astronomie verlangte Regel liefert. Diese muss also zwei verschiedenartigen Forderungen genügen: ihr muss die richtige allgemeine Theorie zum Grunde liegen, und ferner müssen die Grössen, die diese, indem sie allen einander ähnlichen Fällen gemeinschaftlich zukommt, unbestimmt lassen muss, dem besonderen Falle gemäss bestimmt werden. Wenn die erlangte Regel, der ganzen Reihe der vorhandenen Beobachtungen insoweit entspricht, als die Sicherheit der letzteren fordert, so bestätigen diese die Regel; d. h. sie veranlassen weder einen Zweifel an der Richtigkeit der allgemeinen Theorie, noch an der Richtigkeit ihrer Uebertragung auf den besonderen Fall. Aber Unrichtigkeiten, entweder der einen oder der anderen, die verborgen bleiben, so lange die vorhandenen Beobachtungen noch rohere Annäherungen sind, können bemerkbar werden wenn diesen spätere und sicherere hinzukommen; und wenn es dann nicht gelingt, die die Unsicherheit der Beobachtungen übertreffenden Verschiedenheiten zwischen diesen und der Regel, durch die Annahme anderer Werthe der unbestimmten Grössen der allgemeinen Theorie, in

ihre gehörigen Grenzen zurückzuführen, so beweisen die hinzugekommenen Beobachtungen gegen diese, und werden dadurch Veranlassung, eine genügendere aufzusuchen. Auch das Entgegengesetzte kann stattfinden, die allgemeine Theorie kann zuverlässiger werden als die Beobachtungen; welcher Fall zur Ergreifung von Massregeln auffordern wird, die geeignet sind, die Sicherheit der Beobachtungen, und in Folge davon auch der besonderen Theorie, zu vermehren. — Diese gegenseitigen Einwirkungen der Beobachtungen und der Theorie aufeinander, treten sehr deutlich in der allmähligen Entwickelung unserer Kenntniss der Bewegungen der Planeten hervor; ich werde oft darauf zurückkommen müssen, indem ich versuchen werde, eine allgemeine Uebersicht über die fortschreitende Beobachtungskunst und ihre Erfolge für die Wissenschaft zu geben.

Die Folgen der frühesten Aufmerksamkeit auf den Himmel — die Bezeichnung der Sterngruppen durch Bilder, die Unterscheidung der Planeten u. s. w. — scheinen mir nur als Aufforderungen zur Astronomie, nicht als ihr Anfang, betrachtet werden zu müssen; selbst die Ermittelung gewisser Perioden der mehr oder weniger regelmässigen Wiederkehr der Mond- und Sonnenfinsternisse, ging nur von lange fortgesetzter Anmerkung der Tage, an welchen solche Erscheinungen vorgekommen waren, nicht von einer genügenden Einsicht in die Bewegungen des Mondes und der Sonne aus. Indessen hatte sich der Begriff der Himmelskugel entwickelt. Aus dem Pallaste des

Ptolomaeus Philadelphus, der 283 v. C. zur Regierung gelangte und, durch die Stiftung der Alexandrinischen Schule, grosse wissenschaftliche Anstrengungen ins Leben rief, gehen die frühesten Beobachtungen hervor, die eine allgemeinere und nähere Kenntniss der Bewegungen der Himmelskörper beabsichtigten, und auch, vorzüglich durch den alexandrinischen Astronomen Hipparch (160 v. C.) hervorbrachten. Diese Leistungen sind durch den Almagest des Claudius Ptolomaeus (dessen Name zwar an die aegyptischen Könige erinnert, der aber kein Nachkomme von ihnen gewesen zu sein scheint) auf uns gekommen; durch ein Werk, welches etwa in der Mitte des zweiten Jahrhunderts unserer Zeitrechnung entstanden ist, und den ganzen Umfang der Astronomie enthält, den sein Verfasser vorfand und durch eigene Kräfte bedeutend erweiterte, sowohl durch Beobachtungen als auch durch Folgerungen aus ihnen. Rom bietet nichts dieser Art dar, wenigstens nichts Erhebliches. Aber bald nachdem die Araber die römischen Fesseln gesprengt hatten, gelangte die Astronomie unter ihnen zur Blüthe. Der Kalif Almamon unterstützte sie nicht allein, sondern bereicherte sie selbst durch Beobachtungen, welche wir noch besitzen. Von seiner Zeit, dem Anfange des neunten Jahrhunderts, bis in das funfzehnte, trug die von ihm gestreute Saat ihre Früchte. Während dieser Zeit lag auf der Astronomie in Europa dichte Finsterniss der Unwissenheit. Der erste namhafte Astronom, der daraus hervorging, war der 1436 ge-

borene Johann Müller, von seinem Geburtsorte Königsberg in Franken Regiomontanus genannt. Er wird als Wiederhersteller der Astronomie in Europa verehrt. Sechsunddreissig Jahre später wurde Copernicus geboren.

Die achtzehn Jahrhunderte zwischen Ptolomaeus Philadelphus und Copernicus kann man als die erste Periode der Astronomie bezeichnen. Diese zeigt uns die Astronomen vorzugsweise bemüht, die Oerter der Gestirne an der Himmelskugel, durch mechanische Nachahmung der täglichen Bewegung, unmittelbar zu erkennen. Die Armillar-sphäre deren sie sich bedienten, stellt verschiedene grösste Kreise der Himmelskugel durch metallene Ringe dar: der Horizont und der Meridian werden durch zwei, einen Durchmesser gemeinschaftlich habende, sich im rechten Winkeln durchschneidende, fest mit einander verbundene Ringe dargestellt, indem diese so befestigt werden, dass der erste in der Ebene des Horizonts, der andere in der des Meridians befindlich ist; um den nach dem Pole gerichteten Durchmesser des letzteren drehet sich ein dritter Ring, der also einen, und zwar vermöge der Drehung jeden, Declinationskreis darstellt; der Winkel, um welchen er, von seinem Zusammenfallen mit dem Meridiane an, jedesmal gedrehet worden ist, wird durch einen Zeiger, auf einer in Grade getheilten Scheibe abgelesen; endlich befindet sich in der Ebene dieses Ringes, ein um seinen Mittelpunkt drehbares Lineal, welches also in jede Neigung gegen die Axe des Ringes gebracht

werden kann, zu deren Erkennung auch diesem eine Eintheilung in Grade gegeben ist. Dieser Apparat ist geeignet, sowohl den Rectascensionsunterschied, als auch die Declinationen zweier Gestirne anzugeben: die letzteren werden unmittelbar an dem eingetheilten Declinationskreise abgelesen wenn die Absehenslinie des Lineals erst auf das eine, dann auf das andere gerichtet wird, der erstere ist der Unterschied der von dem Zeiger angegebenen Winkel; wobei vorausgesetzt wird, dass seine beiden Stellungen entweder gleichzeitig gemacht sind, oder dass die Drehung der Himmelskugel während ihrer Zwischenzeit in Rechnung gebracht wird. — Auch die Rectascension eines Gestirns selbst, nicht allein sein Rectascensionsunterschied von einem anderen Gestirne, kann mittelst dieses Apparats bestimmt werden. Da jene auch ein Rectascensionsunterschied des Gestirns, und zwar der von dem Punkte des Aequators gezählte ist, welchen die Sonne, bei ihrem Uebergange von südlicher Declination zu nördlicher durchschneidet, so unterscheidet sich ihre Bestimmung nur durch den Zusatz eines Mittels diesen Punkt zu erkennen. Dieses Mittel bietet aber der Apparat dar, indem die Sonne, während ihrer Annäherung an den Aequator, durch ihn so lange verfolgt werden kann, bis er das Verschwinden ihrer Declination angiebt: ihr in diesem Augenblicke gemessener Rectascensionsunterschied von einem Fixsterne ist die Rectascension des letzteren. Die Schwierigkeit, dass die Sterne unsichtbar sind wenn die Sonne sichtbar ist, beseitigten die alten

Astronomen dadurch, dass sie den (immer wenn er über dem Horizonte ist, sichtbaren) Mond zur Vermittelung der Beobachtung anwandten: sie suchten nämlich am Tage seine Rectascension, und später, nach Untergang der Sonne, den Rectascensionsunterschied zwischen ihm und einem Sterne; welcher, verbunden mit jener und der Bewegung des Mondes während der Zwischenzeit beider Beobachtungen, die gesuchte Rectascension des Sterns ergab. Dass man nur die Rectascension eines Fixsterns durch diese Vergleichung mit der Sonne zu suchen braucht, und dann, durch die Beobachtung der Rectascensionsunterschiede anderer Gestirne von ihm, auch ihre Rectascensionen erhält, ist offenbar.

Wir müssen uns jetzt zu der Astronomie der ersten Periode wenden, welche aus den Beobachtungen abgeleitet wurde, über deren Wesentlichstes ich oben eine Uebersicht gegeben habe; die aber, in einigen besonderen Fällen, noch durch andere Verfahrungsarten unterstützt wurden, z. B. wurde die Zenithdistanz der Sonne durch die Messung der Länge des auf eine horizontale Ebene geworfenen Schattens beobachtet. — Die einfachste der Bewegungen an der Himmelskugel ist die der Sonne. Eine ihrer Eigenschaften wurde richtig erkannt, die Eigenschaft, dass sie unter den Fixsternen einen grössten Kreis beschreibt. Dieser grösste Kreis heisst die Ecliptik. Seine Lage gegen den Aequator ist bekannt, sobald die Durchschnittspunkte dieser beiden grössten Kreise und der Winkel des einen mit dem anderen,

oder — gleichgültig damit — das Maximum ihrer Entfernung voneinander, bekannt sind. Einer der Durchschnittspunkte ist der Frühlingsnachtgleichenpunkt; indem die Ebene zweier grössten Kreise sich in einer geraden, durch den Mittelpunkt der Kugel gehenden Linie durchschneiden, die Durchschnittspunkte sich also in gerade entgegengesetzten Richtungen zeigen, so liegt der zweite Durchschnittspunkt — der Herbstnachtgleichenpunkt — dem ersten gerade gegenüber, ist also der Punkt des Aequators, dessen Rectascension 180 Grad ist. Der Winkel beider grössten Kreise gegeneinander — die Schiefe der Ecliptik — wird durch Beobachtung entweder der grössten nördlichen Declination der Sonne im Sommer, oder der grössten südlichen im Winter, erkannt; die Punkte der Ecliptik, welche diesen grössten Declinationen entsprechen, heissen die Sonnenwendepunkte, und ihre Rectascensionen sind resp. 90 und 270 Grad.

Allein die Kenntniss der Sonnenbewegung fordert mehr als allein die Bestimmung des grössten Kreises der Himmelskugel, in welchem sie sich zeigt; sie fordert auch die Bestimmung des Gesetzes der Bewegung in der Ebene dieses grössten Kreises. Diese Bewegung geht nicht mit immer gleicher Geschwindigkeit vor sich; in gleicher Zeit durchläuft die Sonne im Sommer kleinere Bögen der Ecliptik als im Winter, so dass sie auch in der nördlichen Hälfte der letzteren fast 8 Tage länger verweilt als in der südlichen; beide Hälften zusammen durchläuft sie in der immer fast genau gleichen Zeit von 365 Tagen, 5 Stunden,

48 Min. und 48 Sec. — Die ungleiche Bewegung musste man vollständig kennen, um angeben zu können, an welchem Punkte der Himmelskugel die Sonne jederzeit erscheint. Die alten Astronomen sahen den Kreis als die vollkommenste krumme Linie, die beständige Geschwindigkeit als die vollkommenste Bewegung, und damit als nothwendig an, dass die Himmelskörper Kreise, mit beständiger Geschwindigkeit durchlaufen. Um dennoch die Ungleichheit der Bewegung der Sonne zu erklären, waren sie gezwungen, diese auf dem Umfange eines Kreises, seinen Mittelpunkt aber auf dem Umfange eines anderen, beide mit beständiger Geschwindigkeit, bewegt anzunehmen. Sie konnten dann das Grössenverhältniss beider Kreise und die Geschwindigkeiten der beiden Bewegungen, so bestimmen, dass den Beobachtungen der Sonne ziemlich nahe dadurch genügeleistet wurde. — Aber die Bewegungen der Planeten zeigen sich weit weniger einfach als die Bewegung der Sonne: sie gehen nicht in grössten Kreisen der Himmelskugel vor sich und sind auch so weit von gleichmässigem Fortschreiten entfernt, dass sie oft sogar aufhören, um dann die entgegengesetzte Richtung anzunehmen, aus welcher sie, einige Monate später, nach einem neuen Stillstande, wieder zur früheren übergehen. Um dieses einigermassen erklären zu können, musste angenommen werden, dass ein Kreis von dem Mittelpunkte eines zweiten, mit beständiger Geschwindigkeit durchlaufen werde, dieser wieder von dem Mittelpunkte eines dritten, und der dritte endlich von dem Planeten selbst.

Dieses war, in der ersten Periode der Astronomie, die allgemeine Theorie der Bewegungen der Sonne und der Planeten. In Ermangelung ihrer Begründung — denn die angeführte besteht nur in damals gangbaren Meinungen — konnte sie ihre Stütze allein in der Uebereinstimmung ihrer Anwendungen auf die Sonne und die einzelnen Planeten, mit den Beobachtungen dieser Himmelskörper finden. Wirklich ist es möglich, die Bewegung der Sonne dadurch so genau darzustellen, dass die roheren Beobachtungen, die man damals besass, keinen Widerspruch dagegen erheben konnten. Aber die Anwendung derselben allgemeinen Theorie auf die Bewegungen der Planeten, leistet weit weniger gute Dienste, so dass ihre ordentliche Prüfung durch hinreichend zahlreiche Beobachtungen derselben, schon erhebliche Zweifel gegen ihre Richtigkeit hätte hervorbringen können. Indessen kann man, zur Entschuldigung des langen Verharrens bei diesem Systeme geltend machen, dass der Schritt von der Unerklärbarkeit einer Erscheinung zu einer Erklärung, immer lange zu genügen pflegt, wenn diese auch nur den Hergang der Erscheinung im Grossen erläutert. Erst der Versuch, die Erklärung vollständig zu machen, ruft das Bedürfniss einer genauen Kenntniss der Erscheinung hervor, und führt dadurch Mittel zu ihrer genügenderen Beobachtung herbei.

Die zweite Periode der Astronomie fängt mit Copernicus an (geb. 1472, gest. 1543) und geht bis zu Newton. Copernicus hat den Gedanken geltend gemacht, dass die gegenseitige Bewegung zweier Punkte nicht an-

deutet, ob der eine oder der andere der bewegte ist. In der Bewegung der Fixsterne beziehungsweise auf den Horizont, sah er nur, dass entweder die Fixsterne, oder der Horizont sich bewegen; in der Bewegung der Sonne an der Himmelskugel nur, dass entweder die Sonne um die Erde, oder die Erde um die Sonne laufe. Er untersuchte dann, welche Entscheidung dieser Zweideutigkeiten die einfachste Erklärung der Erscheinungen giebt; er sah, dass ein unnatürliches Gewirre von Bewegungen sich in natürliche Einfachheit auflösete, wenn die Fixsterne fest und die Erde drehend, die Sonne fest und die Erde um sie laufend angenommen werden. Dieses ist die Lehre des Copernicus. Hätte das Fernrohr schon zu seinem Gebote gestanden, so würden, unter den Planeten, in deren Reihe er die Erde versetzte, alle auf welchen es Flecken unterscheiden lässt, ihm Zeugniss für ihre Axendrehung abgelegt und auch darin ihre Aehnlichkeit mit der Erde dargethan haben.

Die Copernicanische Lehre zerlegt die Aufgabe, den Ort eines Planeten an der Himmelskugel, für jede bestimmte Zeit zu finden, in zwei Theile, deren erster die Punkte im Raume verlangt, wo sowohl der Planet, als auch die Erde sich befinden; der zweite nur die Aufsuchung der Lage der Gesichtslinie von der letzteren nach dem ersteren. Regeln für die Bewegungen der Planeten um die Sonne, können zugleich viel einfacher und vollständiger sein, als die früher gesuchten, welche unmittelbar ihre Bewegungen um die, selbst bewegte, Erde angeben

sollten. Copernicus ruhete nicht nachdem er seine Erklärung des Sonnensystems gefunden hatte; er suchte selbst diese Regeln. Aber da er hoffen konnte, sie der Wahrheit weit näher zu bringen, als die früheren, so musste er sich zuerst bemühen, den Beobachtungen eine Genauigkeit zu geben, welche früher kaum ein Interesse gehabt hatte, jetzt aber dieses erlangte. Regiomontan, gemeinschaftlich mit Bernhard Walter in Nürnberg, waren ihm in diesem Bestreben vorangegangen, indem sie, von 1472 an, häufige Beobachtungen nach verbesserten Methoden gemacht hatten; Copernicus verfolgte ihren Weg, bis er zu dem Besitze genügender Grundlagen seiner Untersuchungen der Bewegungen im Sonnensysteme gelangte. Er verliess die Voraussetzung noch nicht, dass sämmtliche Planeten sich mit unveränderlichen Geschwindigkeiten in Kreisen bewegen, aber er nahm diese Kreise nicht mehr als der Sonne concentrisch, sondern als ihr excentrisch an, und bestimmte nun die Entfernung ihrer Mittelpunkte von der Sonne und die Richtung der beide verbindenden geraden Linie so, dass dadurch eine Erklärung der Ungleichheiten der Bewegung jedes Planeten um die Sonne erlangt wurde.

Ich habe von geringer Genauigkeit der Beobachtungen in der frühesten Periode der Astronomie gesprochen, aber noch nicht angegeben, in wiefern sie Tadel verdienen. Das Princip der Armillarsphäre ist nicht zu tadeln; auch besitzen noch die heutigen Sternwarten, diesem Principe gemäss eingerichtete —

in gewissen Fällen vortheilhafte — Instrumente, obgleich diese eine ganz verschiedene Bauart haben, auch einen anderen Namen führen. Der Tadel trifft die Bauart, Grösse und Ausführung der Armillarsphären, welche nicht so beschaffen waren, dass sie den beobachteten Ort eines Gestirns, nicht vielleicht einen halben Grad hätten zweifelhaft lassen können. Auch sind diese Instrumente nicht einfach genug, um vor ihrer Anwendung leicht in den Zustand der Berichtigung gebracht werden zu können, welcher die Bedingung der Genauigkeit jeder Beobachtung ist, mit welchem Instrumente sie auch gemacht werden mag. Mechanische Kunst und Beobachtungskunst waren beide noch in ihrer Kindheit; erst weit später sind sie so kräftig geworden, dass sie damals verderblich werdende Schwierigkeiten nicht mehr fürchten dürfen.

Der grosse Vorschritt des Copernicus weckte den Muth, noch grössere Genauigkeit der Kenntniss der Bewegungen am Himmel zu suchen. Wenn die in seinen „Sechs Büchern von den Umläufen der Himmelskörper“ gegebenen Regeln auch die Genauigkeit besassen, die der Sicherheit der ihnen zum Grunde gelegten Beobachtungen angemessen war, so konnte man doch hoffen, noch sichereren Beobachtungen auch noch genauere Regeln abzugewinnen. Nicht lange nach Copernicus Tode traten zwei Männer auf, deren Bemühungen vorzugsweise auf die Vervollkommnung der Beobachtungen gerichtet waren: Wilhelm IV. von Hessen (geb. 1532, gest. 1592), ein

Fürst, auch unter den Astronomen, und Tycho de Brahe (geb. 1546, gest. 1601) ein Dänischer Edler und ein König derselben. Beide verfolgten das Bestreben, durch Vereinfachung der Instrumente und die dadurch ausführbar werdende Vermehrung ihrer Grösse und Genauigkeit, den Beobachtungen die Sicherheit zu verleihen, deren Bedürfniss sie erkannten. Wir vermissen auf ihren Sternwarten die Armillarsphäre der Alten, oder sehen sie wenigstens nicht mehr an dem Ehrenplatze, den nun ein in der Ebene des Meridians aufgestellter grosser Quadrant, und ein ähnliches Instrument einnehmen, dessen Fussgestell so eingerichtet ist, dass seine Ebene in die Ebene des durch jedes Paar von Gestirnen gehenden grössten Kreises gebracht, und es dann zur Messung ihrer Entfernung an der Himmelskugel angewandt werden kann. Durch den Quadranten, welcher, nachdem sein Mittelpunkt und der Anfangspunkt seiner Theilungen, in die Lothlinie gebracht sind, die Entfernungen der Gestirne vom Scheitelpunkte angiebt, werden ihre Declinationen bestimmt. Die durch das zweite Instrument (gewöhnlich nur ein Sechstel des Kreises, oder ein Sextant, um gar zu grosses Gewicht zu vermeiden) gemessene Entfernung zweier Gestirne, kann als die Seite eines Kugeldreiecks angesehen werden, dessen beide andere Seiten, die Entfernungen der Gestirne vom Pole, also durch ihre Declinationen schon bekannt geworden sind. Durch seine drei Seiten ist dieses Dreieck bestimmt; seine Zeichnung auf einer Kugeloberfläche, aber genauer die trigono-

metrische Rechnung, lehrt seinen, der ersten Seite gegenüberstehenden Winkel, also den Rectascensionsunterschied der Gestirne, kennen. — Diese neue Anordnung der Beobachtungen lieferte viel genauere Resultate als die frühere. Sie war aus der Absicht, diese herbeizuführen, hervorgegangen; welche Absicht auch zur Folge hatte, dass Sorgfalt angewandt wurde, nichts unbeachtet zu lassen, was die Sicherheit der Anwendung der Instrumente vermehren konnte; wohin unter Anderen die möglichst vortheilhafte Einrichtung der Absehen gehörte, vermittelst welcher sie auf die zu beobachtenden Gestirne gerichtet wurden. Um die Gefahr von Fehlern, die in der Verfertigung seiner Instrumente begangen sein möchten, zu vermindern, wandte Tycho oft mehrere gleichartige an.

Sowohl der Landgraf von Hessen, als Tycho bestimmten die Oerter zahlreicher Fixsterne, und lieferten Verzeichnisse davon, deren Genauigkeit weit grösser war, als die der früheren. Tychos Beobachtungen der Sonne und der Planeten übertreffen die früheren in zwei gleich wichtigen Eigenschaften, in Vollständigkeit und Genauigkeit. Was er sonst noch durch Beobachtungen zu erforschen beabsichtigte, und was ihn diese, ohne dass er es gesucht hätte, lehrten, wird später, am geeigneten Orte, erwähnt werden können; hier aber muss von den Erfolgen die Rede sein, welche die Sonnen- und Planetenbeobachtungen Tychos, bald nach seinem Tode herbeiführten. Johann Kepler (geb. 1571, gest. 1631), der Tychos

letztes Jahr mit ihm in Prag verlebte und ihn bemühet fand, Nutzen für die Astronomie aus seinen Beobachtungen zu ziehen, konnte sich keine wichtigere Aufgabe stellen, als den Schatz zu heben, der darin verborgen war. Er versuchte also, die unbestimmten Grössen der Copernicanischen allgemeinen Planetentheorie, der Bewegung jedes Planeten so angemessen festzusetzen, dass zwischen den aus seiner (dadurch erlangten) besonderen Theorie hervorgehenden Oertern an der Himmelskugel, und den beobachteten, kein Unterschied übrig bliebe, welcher die von Tycho verengten Unsicherheitsgrenzen der letzteren überschritte. Dieser Versuch gelang für die Bewegung der Erde; aber er mislang für die Bewegung des Mars. Nach jahrelanger vergebener Anstrengung überzeugte sich Kepler von der Unmöglichkeit, den Beobachtungen Tychos durch die Annahme der Bewegung des Mars in einem, der Sonne excentrischen Kreise genügezuleisten; er überzeugte sich, dass bis auf 8 Minuten steigende Unterchiede zwischen dieser Annahme und den Beobachtungen nicht vermieden werden konnten. So wenig bedeutend Unterschiede von dieser Grösse, vergleichungsweise mit denen, an welche man früher gewöhnt war, auch erscheinen mogten, so war doch die Unsicherheit der Tychonischen Beobachtungen noch weniger bedeutend: dem Grade der Sicherheit, zu welchem diese gelangt waren, war also der Besitz des Beweises der Unrichtigkeit der Annahme der Kreisbewegung des Mars zu verdanken.

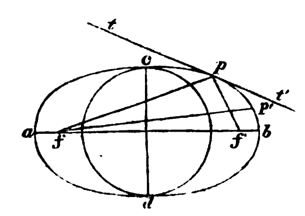
Hierdurch verwandelte sich die Kepler vorliegende Aufgabe in eine andere: er musste die als unrichtig anerkannte allgemeine Theorie der Bewegung durch eine andere ersetzen, die nicht von dem Widerspruche der Beobachtungen getroffen wurde. War grosse Arbeit nöthig gewesen, um zu dieser neuen Aufgabe zu gelangen, so wurden nun nicht allein grosse Arbeit, sondern auch Kraft zum Erfinden und Scharfsinn zum Auszeichnen der mit dem Stempel der Natur geprägten Wahrheit gefordert. Denn die Aufgabe, die Erklärung einer Erscheinung zu entdecken, ist, ihrem Wesen nach, so lange eine unbestimmte, als ihre Auflösung nicht aus einem höheren Principe abgeleitet werden kann: die Lehre von der Bewegung, welche dieses Princip hätte sein sollen, war zu Keplers Zeit noch nicht vorhanden. Aber Kepler war den Schwierigkeiten gewachsen: er fand, dass Tychos Beobachtungen durch die Annahme erklärt werden konnten, dass der Planet Mars sich auf dem Umfange einer Ellipse bewege, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht; dass diese Bewegung einem sehr einfachen Gesetze gemäss vor sich gehe, dem Gesetze, dass die Zeit, welche der Planet anwendet, einen Bogen seiner Bahn zu durchlaufen, dem Raume verhältnissmässig ist, welcher von dem Bogen und den von der Sonne nach seinen beiden Endpunkten gezogenen geraden Linien eingeschlossen wird. *) — Nachdem diese Entdeckung ge-

*) Ich habe schon Gelegenheit gehabt zu sagen (S. 461), dass die Ellipse als ein Kreis angesehen werden kann, der in einer

lungen war, trat die Frage hervor, ob auch die Bewegungen der Erde und aller übrigen Planeten auf gleiche Art erklärt werden können? — Glücklicherweise waren Tychos Tagebücher reich genug, um Kepler in den Stand zu setzen, sie zu bejahen. Alle Planeten fügten sich demselben Gesetze; auch die, deren Ellipsen sich weniger von einem Kreise unterscheiden als die des Mars, die daher den Unterschied zwischen der älteren Annahme und der neuen Entdeckung weniger erheblich hervortreten lassen, und deren Beobachtungen, abgesondert untersucht, nicht zureichend gewesen sein

---

Richtung mehr oder weniger verlängert worden ist, z. B. *abcd*. Der in dieser Richtung liegende (grösste) Durchmesser *ab* heisst die grosse, der auf ihn senkrechte (kleinste) *cd* die kleine Axe der Ellipse. Diese krumme Linie hat eine merkwürdige Eigenschaft: wenn gerade Linien von zwei, auf der grossen Axe, in gleicher Entfernung von dem Mittelpunkte liegenden bestimmten Punkten *f*, *f'*, nach einem beliebigen Punkte *p* der Ellipse gezogen werden, so durchschneiden diese Linien *fp*, *f'p* ihren Umfang immer in einem gleichen Winkel; oder, wenn *tpt'* die Ellipse in *p* berührt, so sind die Winkel *fpt* und *f'pt'* einander gleich. Wenn also von einem dieser Punkte Strahlen ausgehen, so werden sie sämmtlich, an dem Umfange der Ellipse, nach dem anderen zurückgeworfen, so dass sie sich hier durchschneiden, und dadurch die Benennung Brennpunkte rechtfertigen. — Die Keplersche Entdeckung verlangt, dass jeder Bogen *pp'* in einer Zeit durchlaufen werde, welche dem Raume *pfp'* genau verhältnissmässig ist, wenn *f* der von der Sonne eingenommene Brennpunkt ist. — Alles dieses gilt von jeder Ellipse, sowohl von der von dem Kreise kaum zu unterscheidenden, als von der am weitesten ausgedehnten.



würden, die Nothwendigkeit der letzteren unzweifelhaft zu machen. — Diese Entdeckung gehört zu den wichtigsten, auch in ihren Folgen reichsten, die je gemacht worden sind; eine zweite, nicht minder wichtige, die gleichfalls Keplers Andenken verherrlicht, darf ich hier noch unerwähnt lassen.

Keplers Rudolphinische Tafeln — aus Dankbarkeit gegen den Kaiser Rudolph II. so genannt — bringen die Resultate der Anwendungen seiner Theorie auf die einzelnen Himmelskörper, in eine Form, welche die Berechnung ihrer Oerter möglichst erleichtert. Indem dieses Werk die Oerter der Himmelskörper mit einer Sicherheit ergiebt, welche von der der Beobachtungen Tychos nicht übertroffen wird, erschöpft es Alles, was die Astronomie bis dahin aufzuweisen hatte. Die Hoffnung auf neue Fortschritte schien auf neuer Vermehrung der Sicherheit der Beobachtungen zu beruhen. Auch wurde diese nicht ohne Erfolg versucht, vorzüglich durch Picard (geb. 1620, gest. 1682), Joh. Dom. Cassini (geb. 1625, gest. 1712) und Johann Hevel (geb. 1611, gest. 1687). Aber die glückliche Vereinigung der fortschreitenden Vervollkommnungen zu einem, die Beobachtungskunst Tycho de Brahes beträchtlich übertreffenden Ganzen, blieb Flamsteed überlassen, von dem später die Rede sein wird. Hevels Beobachtungen sind zahlreich, ein würdiger Schluss des von Tycho Angefangenen.

Die dritte Periode der Astronomie fängt mit Newton (geb. 1643, gest. 1727) an, der sie mit der Frage nach der Ursache der den Keplerschen Ge-

setzen gemässen Bewegung der Planeten eröffnet. Als diese Ursache erkannte er eine Kraft, mit welcher die Sonne die Planeten anzieht, und zwar desto stärker anzieht, je näher sie ihr sind: Planeten, welche doppelt, dreimal, viermal ... so weit entfernt sind als ein anderer, erfahren ein Viertel, ein Neuntel, ein Sechszehntel ... der Kraft die dieser erfährt; allgemein ausgesprochen, ist die Kraft in dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung des sie erfahrenden Planeten von der Sonne. Wie dieses Gesetz der anziehenden Kraft der Sonne, aus der von Kepler erkannten Art der Bewegung der Planeten hervorgeht, darf hier noch unerörtert bleiben; aber ich darf nicht unterlassen, schon hier zu sagen, dass Newton die Anziehung nicht etwa als eine der Sonne besonders eigenthümliche, sondern als eine allgemeine Eigenschaft aller Materie erkannte; dass er sich berechtigt fand auszusprechen, dass jeder Körper, seiner Masse verhältnissmässig, eine dem angeführten Gesetze folgende Anziehungskraft äussert.

Wenn man die Massen der Sonne und der Planeten, so wie auch die Oerter im Raume kennt, wo die letzteren sich jederzeit befinden, so kennt man damit die Grösse und Richtung jeder der Anziehungen, die einer der Planeten jederzeit erfährt. Da er sich frei bewegen kann, so bewegt er sich so, wie diese Anziehungen, in Verbindung mit seinem Orte und dem Zustande seiner Bewegung zu einer bestimmten Zeit, erfordern. Die Bestimmung seiner Bewegung verwandelt sich dann in eine Aufgabe, welche der Lehre

von der Bewegung anheimfällt, die, wie wir wissen, alle ihre Aufgaben aufzulösen die Mittel besitzt. Offenbar ist diese Bewegung verschieden von der, die der Planet haben würde, wenn er allein der Anziehung der Sonne folgte. Denkt man sich den Planeten und alle übrigen, an den Oertern im Raume, die sie zu einer bestimmten Zeit einnehmen; ferner die Oerter der letzteren zu der Zeit wenn der erstere, durch Vollendung eines Umlaufes, wieder gleiche Stellung zur Sonne erlangt hat, so wird anschaulich, wie die Kräfte, welche am Anfange und während der Dauer des ersten Umlaufes auf ihn wirken, von denen verschieden sind, die er am Anfange und während der Dauer des zweiten erfährt. Seine Bewegung während jedes seiner Umläufe wird also auch verschieden sein; indem sie von den veränderlichen Stellungen der übrigen Planeten abhängt, kann sie nicht einem einfachen, diese gar nicht berücksichtigenden Gesetze folgen.

Ein solches Gesetz war aber das von Kepler aus Tychos Beobachtungen der Planeten abgeleitete. Damit kein Widerspruch zwischen diesem Zeugnisse der Beobachtungen und der eben dargestellten Folge der Newtonschen Lehre entsteht, ist nothwendig, entweder dass die allgemeine Anziehungskraft der Körper aufgegeben, und statt ihrer nur die der Sonne zugegeben wird; oder dass die Störungen der aus der letzteren hervorgehenden Bewegung eines Planeten, durch die Anziehungen der übrigen, nicht gross genug waren, um sich nicht in der Unsicherheitsgrenze der Tychonischen Beobachtungen zu verbergen. Es wa-

ren zwar unabweisliche Gründe (die wir in der Folge kennen lernen werden) für die allgemeine Anziehung vorhanden; aber dennoch musste eine Vermehrung der Sicherheit der Beobachtungen wünschenswerth werden, welche möglich machte, entweder die von Newtons Lehre geforderten Störungen der einfachen Keplerschen Regel, am Himmel nachzuweisen, oder die Behauptung ihres Nichtvorhandenseins, und damit einen Widerspruch gegen jene Lehre zu rechtfertigen. — Indessen hatte die Beobachtungskunst, schon vor dieser Aufforderung durch Newtons Lehre, Fortschritte gemacht, und gleichzeitig mit dieser, gelangte sie zu einem Zustande, der den, in welchen Tycho de Brahe sie versetzt hatte, eben so weit übertraf, als dieser den früheren.

Dieses war das Verdienst Johann Flamsteed's (geb. 1646, gest. 1719), des ersten Astronomen der Sternwarte, welche König Carl II. in Greenwich, auf einem Hügel erbauete, von welchem herab der Wissenschaft, von 1676 bis jetzt, fast ununterbrochen ein Schatz von Beobachtungen zugeströmt ist. Von Flamsteed an sehen wir ein neues Princip der Beobachtung der Rectascensionsunterschiede der Gestirne geltend gemacht: von den beobachteten Unterschieden ihrer Durchgangszeiten durch die Ebene des Meridians wird auf ihre Rectascensionsunterschiede gefolgert. Die Uhr wird nun ein wesentlicher Theil des Apparats einer Sternwarte; ihr gleichförmiger Gang stellt die gleichförmige Drehung der Erde dar. Wenn er so regulirt ist, dass er während der Zeit

einer ganzen Drehung, also während eines Sternentages, 24 Stunden beträgt, so zeigt jede ihrer Stunden, dass die Drehung um ein Vierundzwanzigstel der ganzen von 360 Grad, also um 15 Grad fortgeschritten ist; jede Minute der Uhr entspricht dem Sechszigtel dieser 15 Grad, oder 15 Minuten; jede Secunde der Uhr eben so 15 Secunden. Wenn daher die zwischen den Durchgängen zweier Gestirne durch den Meridian — ihren Culminationen — verstrichene Zahl von Stunden, Minuten und Secunden beobachtet ist, so lehrt sie den Winkel kennen, um welchen die Ebene des Meridians sich gedreht hat, um von dem einen zu dem anderen zu gelangen, welcher Winkel ihr Rectascensionsunterschied ist. Ein Instrument, welches zur Messung der Entfernungen der Gestirne vom Scheitelpunkte eingerichtet, und so aufgestellt ist, dass seine Absehenslinie sich in der Ebene des Meridians bewegt, ist, in Verbindung mit der Uhr, nun hinreichend zur Bestimmung der Declinationen und der Unterschiede der Rectascensionen. Das von Flamsteed angewandte Instrument dieser Art war ein, an einer in der Ebene des Meridians aufgeführten Mauer befestigter grosser Quadrant, ein Mauerquadrant. Sein beweglicher, auf die Gestirne zu richtender Radius, trug nicht mehr die früher üblichen Absehen, sondern ein Fernrohr, in dessen Brennpunkte ein horizontaler und ein verticaler feiner Faden eingespannt waren, die das Ocular, zugleich mit dem zu beobachtenden Gestirne deutlich zeigte. Diese, dem französichen Astronomen Azout gehörende Anwen-

dung des Fernrohrs, gewährt den grossen Vortheil, den Beobachtungen der Richtung auf ein Gestirn, und der Zeit seines Durchganges durch den Meridian, weit grössere Genauigkeit zu geben, als ihnen durch das blosse Auge gegeben werden könnte; auch macht sie möglich, kleinere Sterne als das unbewaffnete Auge zu sehen vermag, so wie auch Planeten und hellere Fixsterne am Tage zu beobachten. Flamsteeds Apparat war nicht allein mit Umsicht angeordnet, sondern auch mit aller Vollendung ausgeführt, welcher die mechanische Kunst der damaligen Zeit fähig war. — Der von ihm beabsichtigte und durch seine Massregeln herbeigeführte Erfolg, war eine grosse Vermehrung der Sicherheit der Beobachtungen: während der mittlere Fehler einer Beobachtung von Tycho etwa eine Minute betragen mag, kann er für eine von Flamsteed auf ein Sechstel davon, oder 10 Secunden, geschätzt werden.

Bis zu Newton zeigt sich die Wechselwirkung der Fortschritte der astronomischen Beobachtungen und der Astronomie so einfach, dass jeder Fortschritt der einen, einen der anderen zur unmittelbar hervortretenden Folge hat. Durch die Entdeckung der allgemeinen Anziehungskraft der Materie, werden alle Bewegungen der Weltkörper der Gegenstand Einer Aufgabe der mathematischen Lehre von der Bewegung, die Newton selbst so weit ausbildet, dass sie sich an die Auflösung dieser umfangreichen Aufgabe wagen kann. Je weiter sich ihre Auflösung entwickelt, desto fühlbarer wird das Bedürfniss, die Genauigkeit

der Beobachtungen fortschreitend zu vermehren; aber ihre Vermehrung wird nun nicht mehr die Grundlage einer neuen Erklärung des Weltsystems, sondern die Bedingung der vollständigeren Erkenntniss der Folgen der schon gefundenen. Ehe ich unternehmen kann, die in dieser Erkenntniss gemachten Fortschritte zu entwickeln, muss ich darzustellen versuchen, wie ihre Bedingung, durch die auf Flamsteed folgenden Beobachter erfüllt worden ist.

Zuerst, und glänzend unter ihnen, tritt James Bradley (geb. 1692, gest. 1762) hervor. — Um den Fortschritt der Beobachtungskunst, den wir ihm verdanken, näher bezeichnen zu können, muss ich vorher von den Beobachtungen im Allgemeinen reden. Ich habe schon bemerkt, dass eine astronomische Beobachtung nie den Ort eines Gestirns an der Himmelskugel, sondern immer nur eine Annäherung an ihn ergiebt. Wenn man die Ursachen aufsucht, die dieses zur Folge haben, so findet man, dass selbst in sehr einfach erscheinenden Beobachtungsarten, viele derselben zusammenwirken; ein von der Messung der Zenithdistanz eines Sterns, mittelst eines, in der Ebene des Meridians befestigten Mauerquadranten, hergenommenes Beispiel wird dieses erläutern. Das sich um den Mittelpunkt der Theilungen seines Gradbogens drehende Fernrohr, muss zuerst auf den Stern gerichtet, d. h. so gestellt werden, dass die tägliche Bewegung das in ihm erscheinende Bild des Sterns, den im Brennpunkte horizontal ausgespannten Faden entlang führt. Dieses kann offenbar mit desto grösserer

Sicherheit bewirkt werden, je augenfälliger das Fernrohr eine Abweichung von seiner beabsichtigten Richtung hervortreten lässt: während ein nur 10 Mal vergrösserndes, vielleicht eine 5 Secunden betragende Entfernung des Sterns, von der Mitte des Fadens unbemerkbar erscheinen lässt, seine Richtung also so viel unsicherer bleibt, wird ein 100 Mal vergrösserndes diese Unsicherheit auf den zehnten Theil ihrer Grösse, oder auf eine halbe Secunde vermindern. Die Anwendung eines möglichst starken Fernrohrs wird also das Mittel sein, die Unsicherheit der Richtung auf den Stern zu verkleinern, aber selbst das stärkste Fernrohr wird sie nicht ganz vernichten. Diese, aus der Unvollkommenheit des Sehens hervorgehende Unsicherheit der Richtung wird durch das Zittern der Sterne vermehrt, welches aus — selten fehlenden — Bewegungen der Luft entsteht, und verursacht, dass ihre Bilder im Fernrohre nicht ruhig dem Faden folgen, sondern sprungweise, einige Secunden bald über, bald unter demselben erscheinen, so dass ihm nur eine mittlere, mehr oder weniger unbestimmt bleibende Stellung auf einen Stern gegeben werden kann. — Die Richtung des Fernrohrs muss dann auf dem Gradbogen abgelesen werden. Dieser ist, durch feine — gewöhnlich auf einem, in ihn eingelegten Silberstreifen gezogene — Striche, von Grad zu Grad, und jeder Grad wieder in kleinere Theile, z. B. von 5 zu 5 Minuten, eingetheilt; am Fernrohre fest ist ein Zeiger, dessen Ort auf dem Gradbogen, durch Messung seiner Entfernung von dem nächsten Striche der Theilung,

bestimmt werden muss, damit die Richtung bis auf einzelne Minuten und Secunden bekannt werde. Zu dieser Messung sind verschiedene Mittel angewandt worden, deren geeignetere ihr — der Ablesung — zwar grössere, nie aber vollständige Genauigkeit geben können, indem die Schärfe des — wenn auch mikroskopisch verstärkten — Sehens, auch hier ihre Grenze findet. Wenn die Wärme in der Sternwarte nicht allenthalben gleich ist, sondern, wie gewöhnlich, von unten nach oben zunimmt, so wird das Instrument oben mehr als unten ausgedehnt, und es erfährt eine Formänderung, welche Aenderungen der Oerter der Theilstriche, also Theilungsfehler von (zugleich mit ihrer Ursache) veränderlicher Grösse, hervorbringt, und dadurch gleichfalls einen Fehler der abgelesenen Richtung erzeugt. Die bis jetzt erwähnten Fehlerursachen wirken zufällig, bald mehr, bald weniger, bald in diesem, bald in jenem Sinne, auf eine Beobachtung ein. Andere zeigen sich bei jeder Wiederholung einer Beobachtung in gleicher Grösse. Zu diesen gehören Fehler in der Auftragung der Theilstriche; nicht vollständiges Zusammenfallen der Mittelpunkte der Theilung und der Drehung des Fernrohrs; Biegungen, welche die metallenen Körper des Instruments und des Fernrohrs durch ihr eigenes Gewicht erfahren u. s. w. — Auch muss hieher der Fehler gezählt werden, der in der Ermittelung des Punkts der Theilungen, welcher der Richtung des Fernrohrs nach dem Scheitelpunkte entspricht, begangen werden kann; denn dieses ist der Punkt, von

welchem an die Ablesung gezählt werden muss, damit sie die Entfernung von dem Scheitelpunkte werde.

Die zufällig wirkenden Fehlerursachen haben zur Folge, dass sich zwischen Wiederholungen einer Beobachtung Unterschiede finden. Die durch häufige Wiederholungen erkannte mittlere Grösse dieser Unterschiede giebt ein Urtheil über die grössere oder kleinere Vollständigkeit des Erfolges, welchen die Beschaffenheit des Apparats und die Aufmerksamkeit des Beobachters gewährt haben. Das mittlere Resultat wiederholter Beobachtungen wird durch sie desto weniger entstellt werden, je grösser die Zahl der Wiederholungen, und je begründeter damit die Erwartung wird, dass die zufälligen Fehler theils in dem einen Sinne, theils in dem entgegengesetzten begangen worden sind. Die beständig wirkenden Fehlerursachen stören dagegen nicht die Uebereinstimmung der Beobachtungen untereinander, sondern entstellen in gleicher Grösse das Resultat einer einzelnen Beobachtung und das mittlere jeder Zahl von Beobachtungen. Ist z. B. der Theilstrich, von welchem die 100 Mal wiederholte Messung der Zenithdistanz eines Sterns jedesmal ausgegangen ist, 5 Secunden von dem Orte auf dem Gradbogen, wo er sich befinden sollte, entfernt, so wird das mittlere Resultat der 100 Beobachtungen dadurch um 5 Secunden entstellt, während die zufälligen Fehler vielleicht so klein sind, dass keine einzige derselben sich um 2 Secunden von diesem entstellten Resultate entfernt.

Offenbar sind die beständigen Fehler den Resultaten weit gefährlicher als die zufälligen, deren Einfluss jedenfalls durch häufige Wiederholung der Beobachtungen vermindert werden kann. Sorgfalt in der Richtung des Fernrohrs und ihrer Ablesung ist zwar eine der Eigenschaften eines guten Beobachters; aber die, leicht und von Jedem zu erlangende, Gewöhnung daran ist nicht der Grund seines Ruhms. Dieser geht von seiner vollständigen Erkenntniss des jederzeit vorhandenen Bedürfnisses der Astronomie aus: er gebührt seiner Fähigkeit, entweder die zur Befriedigung desselben erforderlichen Massregeln richtig zu wählen, oder vorhandene ihm angemessen anzuwenden — seinem Scharfsinne in der Entdeckung jeder Ursache eines beständigen Fehlers, in der Erfindung der Mittel, wodurch Ort und Grösse ihres Einflusses an den Tag gelegt, und das Resultat einer Beobachtung davon völlig befreiet werden kann. In diesem Sinne genommen, gebührt der Ruhm des Beobachters nicht Jedem, der ein Fernrohr gerichtet und seine Richtung abgelesen hat, aber er gebührt Tycho de Brahe, Flamsteed, Bradley.

Bradley, vorbereitet durch eine, von 1725 an beobachtete, in ihren Folgen höchst merkwürdig gewordene Reihe von Zenithdistanzen von Sternen, auf welche ich später zurückkommen werde, kam 1750 auf die Sternwarte in Greenwich. Es war ihm gelungen, jenen Beobachtungen einen so hohen Grad von Genauigkeit zu geben, dass der zufällige Fehler jeder derselben gewöhnlich innerhalb einer Secunde

blieb. Diese Genauigkeit wurde durch die Natur der Frage, die durch seine Beobachtungen beantwortet werden sollte, gefordert. Um sie zu erlangen, hatte er sich auf die Beobachtung von Sternen beschränkt, welche in kleinen, wenige Grade nicht überschreitenden Zenithdistanzen culminirten; denn ein nur in so geringer Entfernung von dem Scheitelpunkte anwendbares Instrument durfte nur einen, sich über wenige Grade erstreckenden Gradbogen besitzen, dem ein desto längerer, der einzelnen Secunde eine hinreichende Grösse verleihender Halbmesser gegeben werden konnte, während die eben so grosse Länge des Fernrohrs die Sicherheit seiner Richtung auf den Stern vermehrte, und der Bau des ganzen Apparats so einfach wurde, dass ihm verschiedene, sonst vorhandene Fehlerursachen ganz fehlten.

Dieselbe, oder fast dieselbe Genauigkeit, welche diese früheren Beobachtungen besassen, eignete Bradley den späteren an, welche er auf der Königlichen Sternwarte in Greenwich machte. Durch einen berühmten Künstler der Mechanik, Bird, liess er einen Mauerquadranten von 8 Fuss Halbmesser verfertigen, der die ähnlichen Instrumente früherer Zeit, in jeder Hinsicht weit übertraf, und in der That solche Vollendung besass, das er und ähnliche, von demselben Künstler für andere Sternwarten verfertigte Quadranten, erst in den letzten Decennien ihre Stellen anderen Instrumenten eingeräumt haben, deren Vorzug vielleicht eben so wohl in grösserer Leichtigkeit ihrer Prüfungen, als in grösserer Schärfe ihrer Leistungen zu suchen

ist. Die Bauart des Bird'schen Mauerquadranten, die Vollendung seiner Ausführung, die Güte seines Fernrohrs, die Richtigkeit seiner Eintheilung — wirkten zusammen, um den durch seine Vermittelung erlangten Beobachtungen der Zenithdistanzen, eine wenig zu wünschen lassende Genauigkeit zu geben. Die Bestimmung des Anfangpunkts dieser Zenithdistanzen erhielt Bradley, indem er Beobachtungen in der Nähe des Scheitelpunkts culminirender Sterne, mit ihren wahren Zenithdistanzen verglich, die er mittelst des zu seinen früheren, schon erwähnten, Beobachtungen angewandten Instruments — des Zenithsectors — bestimmte. — Zur Beobachtung der Durchgangszeiten der Gestirne durch den Meridian wandte Bradley das von dem berühmten dänischen Astronomen Olaus Römer (geb. 1644, gest. 1710) erfundene Mittagsfernrohr an; ein, in der Mitte seiner Länge, mit einer, auf seiner Absehenslinie senkrechten Drehungsaxe verbundenes Fernrohr, dessen, diese Linie bestimmender Verticalfaden also den Meridian beschreibt, wenn die Enden der Axe, zwischen zwei festen Steinpfeilern, so in Lagern ruhen, dass sie genau horizontal und senkrecht auf den Meridian ist. Dieses Instrument ist geeignet, den Meridian ungleich sicherer zu beschreiben, als das Fernrohr des Mauerquadranten, welches Flamsteed zu demselben Zwecke benutzte; seine beliebig lange Drehungsaxe, die Leichtigkeit ihre Horizontalität zu erlangen und sie auch in ihren Lagern umzulegen, endlich seine grosse Einfachheit, geben ihm Vorzüge, welche ihm

seine Stelle in den Sternwarten für immer sichern. Das von Bradley angewandte Mittagsfernrohr hatte, wie das des Quadranten, 8 Fuss Länge und sein Verfertiger Bird unterliess nichts, was die Sicherheit seiner Leistungen vermehren konnte. Die Gleichmässigkeit des Ganges der von Bradley zur Messung der Rectascensionsunterschiede angewandten Uhr lässt nichts zu wünschen übrig.

Dieses waren die Mittel, durch welche Bradley der Astronomie einen Grund zu legen beabsichtigte, der fester, den Forderungen der sich entwickelnden Newtonschen Lehre angemessener sein sollte, als der war, worauf sie bis dahin beruhete. Von 1750—1762 machte er auf der königlichen Sternwarte in Greenwich über Sechszigtausend Beobachtungen der Fixsterne, der Sonne, der Planeten, des Mondes, die er so anzuordnen verstand, dass sie genügend wurden, nicht allein den Zustand des Himmels für seine Zeit, sondern auch alle Bestimmungen kennen zu lehren, welche man kennen muss, um von den an dem Quadranten und der Uhr abgelesenen Zahlen, zu den Oertern der Gestirne an der Himmelskugel gelangen zu können. Diese unerschöpfliche Beobachtungsreihe ist ein in sich abgeschlossenes Ganzes; mit ihr fangen die Thatsachen an, auf welche spätere Astronomie sich stützt und stützen wird. — Gleichzeitig mit Bradley waren zwei grosse Astronomen, Tobias Mayer und Lacaille, deren kundige Bemühungen um die Beobachtung des Himmels aber von ihren Apparaten weniger unterstützt wurden. Nach seinem

Tode blieb in Greenwich, 48 Jahre lang, Alles in dem Zustande, in welchem er es verlassen hatte; sein Nachfolger Maskelyne setzte die Beobachtungen ununterbrochen fort, aber während er vielleicht noch grösseren Fleiss als sein Vorgänger anwandte, ihre zufälligen Fehler zu vermindern, unterliess er, sich gegen die gefährlicheren, beständigen zu schützen; wovon die Folge war, dass seine lange Reihe von Beobachtungen, nicht selbstständig, sondern erst dann der Wissenschaft ganz nutzbar wurde, als spätere Beobachtungsreihen, verbunden mit den früheren, das Mittel gaben, sie von ihren beständigen Fehlern zu befreien.

Vom Jahre 1791 an erwuchs der Wissenschaft neue Hülfe aus der Sternwarte, welche der König beider Sicilien, Ferdinand III., in Palermo, für Joseph Piazzi gründete. Der talentvolle englische Künstler Ramsden versah sie, statt des Mauerquadranten, mit einem ganzen Kreise. Im Wesentlichen kann dieses Instrument als ein Mittagsfernrohr, auf dessen Axe ein eingetheilter Kreis fest ist, betrachtet werden; eine dem Fernrohre gegebene Richtung wird durch die Ablesung zweier, einander gerade gegenüberstehender, mit einem der Lager der horizontalen Drehungsaxe festverbundener Zeiger, auf dem Gradrande des Kreises erkannt; diese Lager sind nicht fest an zwei Steinpfeilern, sondern an Säulen, welche auf einer Unterlage von Metall stehen, die um eine lothrechte Axe gedreht werden kann, und deren Drehung möglich macht, die Ebene des Kreises in

jede lothrechte Ebene zu bringen, so dass die Absehenslinie des Fernrohrs, bei seiner Drehung um die wagerechte Axe, jeden beliebigen, durch den Scheitelpunkt gehenden grössten Kreis — Verticalkreis — beschreiben kann; woraus hervorgeht, dass das Fernrohr in zwei einander entgegengesetzten Wendungen des Kreises, auf einen Stern gerichtet werden kann, ebensowohl wenn die eingetheilte Seite des Kreises rechts, als wenn sie links gewandt ist. — Ein solcher ganzer Kreis hat verschiedene Vortheile vor einem Mauerquadranten voraus. Wenn das Fernrohr in beiden Wendungen des Instruments auf einen Stern gerichtet wird, so sind die, dann unter einem der Zeiger befindlichen Punkte des Gradrandes, gleich weit von dem Punkte entfernt, der der Richtung nach dem Scheitelpunkte entspricht, aber sie liegen auf entgegengesetzten Seiten desselben; woraus hervorgeht, dass der Bogen des Kreises zwischen den beiden abgelesenen Punkten, die doppelte Entfernung des Sterns von dem Scheitelpunkte ist, diese Entfernung also durch beide Beobachtungen bekannt wird, ohne dass dazu die Kenntniss des der Richtung des Fernrohrs nach dem Scheitelpunkte entsprechenden Punkts erforderlich würde. Ferner ist das mittlere Resultat der Ablesungen an beiden, einander gegenüberstehenden Zeigern, frei von einer Excentricität des Kreises beziehungsweise auf seine Drehungsaxe. Hierdurch verschwinden zwei der Ursachen, welche zu dem beständigen Fehler einer Beobachtung mit dem Mauerquadranten beitragen können; auch wird

die Ablesung sicherer, indem sie zweimal — an den gegenüberstehenden Zeigern — gemacht und ihr mittleres Resultat genommen wird. — Diese, den ganzen Kreisen eigenthümlichen Vortheile, erscheinen so werthvoll, dass Instrumente dieser Art von kleineren Halbmessern, den Quadranten von grösseren vorgezogen werden, obgleich ein gleich grosser Fehler, sowohl des Orts eines Theilstrichs, als auch einer Ablesung, bei dem kleineren Instrumente einen grösseren Einfluss erhält, als bei dem grösseren; der Halbmesser von Piazzis Kreis z. B. ist etwa ein Drittel so gross als der von Bradleys Quadranten, nämlich 2 Fuss 6 Zoll. Mit diesem Kreise und einem, gleichfalls von Ramsden verfertigten Mittagsfernrohr, machte Piazzi, während 25 Jahren, eine unglaubliche Menge von Beobachtungen, deren vorzüglichster Zweck die Bestimmung der Oerter von 7646 Fixsternen war.

Beobachtungen von der Genauigkeit derer, die von Bradley an gemacht werden konnten, mussten, wenn es gelang, sie vollständig mit den Folgen der von Newton gelehrten allgemeinen Anziehung zu vergleichen, eine scharfe Prüfung der Richtigkeit dieser Lehre, und, im Falle der Bestätigung derselben, eine befriedigende Kenntniss der Bewegungen der Himmelskörper gewähren. Für jetzt wird es hinreichen, zu wissen, dass die mathematische Entwickelung der Folgen, welche die allgemeine Anziehungskraft in den Bewegungen der Himmelskörper äussert, von der Mitte des vorigen Jahrhunderts an, die Aufgabe geworden war, welcher sich die Kräfte der Geometer

vorzugsweise zuwandten, und dass einer der grössten von ihnen, Laplace, sich gegen das Ende des Jahrhunderts im Stande fand, ein grosses und vollständiges Werk, welches den Titel Mécanique Céleste hat und verdient, anzufangen, dessen fünfter und letzter Band 1825 erschienen ist. Die Verbindung der dadurch erlangten Vollständigkeit der mathematischen Kenntniss der Bewegungen, mit der Genauigkeit der vorhandenen Beobachtungen, brachte nun einen Zustand der Astronomie hervor, welcher zu der Ueberzeugung führte, dass ihr weiteres Fortschreiten durch fernere Vermehrung der Sicherheit der Beobachtungen bedingt werde, vorzüglich durch die Anwendung von Mitteln, welche vollständige Sicherheit gegen beständige Fehler gewähren können. Diese Ueberzeugung hat zu der Beobachtungskunst der jetzigen Zeit geführt, deren Hauptmomente ich jetzt darzustellen versuchen werde.

Jm Jahre 1812 wurde ein, von dem berühmten Künstler Troughton verfertigter Meridiankreis auf der königlichen Sternwarte in Greenwich aufgestellt. Seine Einrichtung ist von der des Piazzischen Instruments verschieden: die an einer Steinmasse festen Lager seiner Axe, weisen dieser unveränderlich die auf der Ebene des Meridians senkrechte Richtung an, so dass die Ebene des Kreises und der Bewegung des mit ihm fest verbundenen Fernrohrs, stets die des Meridians ist; Kreis und Fernrohr sind nicht in der Mitte, sondern an einem Ende der Drehungsaxe befindlich, wodurch auf die Umlegung der-

selben in ihren Lagern Verzicht geleistet wird; die Ablesung geschieht an sechs, paarweise einander gegenüberstehenden, an der Steinmasse festen mikroskopischen Zeigern. Diese Einrichtung beabsichtigt die unmittelbare Messung der Entfernungen der Gestirne von dem Pole; nicht die Zusammensetzung derselben aus ihren, abgesondert zu messenden beiden Theilen, nämlich den Entfernungen sowohl des Sterns, als auch des Pols von dem Scheitelpunkte. Wenn das Fernrohr in beiden Culminationen eines Fixsterns — über und unter dem Pole — auf ihn gerichtet, und beidemale die Richtung abgelesen wird, so ist (vorausgesetzt, dass die Zeiger, durch die Steinmasse, an welcher sie fest sind, vor Veränderungen ihrer Lage gegen die Ebene des Horizonts gesichert werden) die halbe Summe der beiden Ablesungen die der Richtung des Fernrohrs nach dem Pole entsprechende; ihr Unterschied von der Ablesung der Richtung des Fernrohrs auf ein Gestirn, dessen Ort an der Himmelskugel bestimmt werden soll, ist die gesuchte Entfernung des letzteren vom Pole, deren Ergänzung zu 90 Grad seine Declination ist. Diese wird also bekannt, ohne dass der Scheitelpunkt dabei in Betracht kommt: die Voraussetzung der Unveränderlichkeit der Stellung der Zeiger gegen den Horizont, macht die Anwendung eines Mittels unnöthig, wodurch die Richtung des Fernrohrs nach dem Scheitelpunkte erkannt werden könnte; ihre Verfolgung wird als eine Vervollkommnung der Beobachtungskunst anzusehen sein, wenn sie grössere Sicherheit

gewährt, als die Bestimmung des Scheitelpunkts. Die Beobachtungen, die Pond mit dem Troughtonschen Meridiankreise machte, stimmen bewunderungswürdig, auch noch beträchtlich besser untereinander überein als die Piazzischen, so dass ihr mittlerer Fehler nur acht Zehntel einer Secunde beträgt; aber entscheidend für das Princip der ersteren ist dieses nicht, weil jenes Instrument mit grösserer Vollendung ausgeführt ist, auch durch seine sechs mikroskopischen Ablesungen einen grossen Vortheil vor den zweien des anderen voraus hat, seine grössere Wirkung also schon aus diesen Gründen erwartet werden müsste. — Zur Beobachtung der Durchgangszeiten der Gestirne durch den Meridian erwies sich dasselbe Instrument nicht genügend, wesshalb Pond sie mit einem, gleichfalls von Troughton verfertigten, grossen Mittagsfernrohre machte.

Ich habe die Künstler Bird, Ramsden, Troughton genannt, deren Leistungen Bedingungen der erfolgten Vervollkommnung der astronomischen Beobachtungen geworden sind; die erwähnten früheren Beobachtungen Bradleys wurden mit einem Zenithsector gemacht, der eine Frucht der Kunst Grahams war. Von Graham an tritt diese Kunst selbstständig auf, während früher die Astronomen nur Apparate verlangten, deren Verfeinerung noch nicht so gross war, dass diese sie hätte hervorrufen müssen. Die selbstständig gewordene Kunst hielt gleichen Schritt mit der Astronomie, der sie diente. In München erscheint mit dem Jahre 1804 Reichenbach, dessen grosse

Talente sich reich an Mitteln erweisen, die astronomischen Instrumente in allen ihren Theilen wesentlich zu vervollkommnen; er findet auch die Kunst, der Kreistheilung eine früher nicht erreichte Vollendung zu geben; er zieht Fraunhofer zu sich, der den Fernröhren die grösste Vollkommenheit zu verleihen weiss, indem er Wissenschaft und Kunst in gleich hohem Grade besitzt. Gleichzeitig mit den mechanischen und optischen Werkstätten Münchens, nach welchen die Blicke Aller gerichtet sind, die den Werth genauer Instrumente erkennen, zeigt sich in Hamburg Johann Georg Repsold, der die Möglichkeit noch grösserer Vollendung ahndet, und Mittel sucht, die grösste in jedem einzelnen Theile eines Instruments herbeizuführen. Später treten in Berlin Pistor und in Paris Gambey, in die Reihe der berühmtesten Künstler; auch behalten die Anstalten Münchens, nach dem Tode Reichenbachs und Fraunhofers ihr Bestehen; in Hamburg zeigen sich Repsolds Söhne als Erben, nicht allein der Apparate, sondern auch des eigenthümlichen Geistes ihres Vaters, den sie, in vielen und schönen Leistungen, gesteigert an den Tag legen. Es würde mich viel zu weit führen, wenn ich Alles aufzählen wollte, was aus der lebendigen Bewegung der erstarkenden Kunst hervorgegangen ist; aber ich muss der Reichenbachschen Meridiankreise erwähnen, welche, von 1820 an, auf mehreren Sternwarten der Astronomie nützlich geworden sind. Ein solches Instrument dient zugleich zur Beobachtung der Durchgangszeiten der Gestirne durch den Meridian

und ihrer Entfernungen von dem Pole oder Scheitelpunkte; es ist ein Mittagsfernrohr, auf dessen Axe ein Kreis fest ist; die Axe ruhet zwischen zwei Steinpfeilern in Lagern, die ihr die auf den Meridian senkrechte Richtung anweisen, und in welchen sie umgelegt werden kann; die Theilung des Kreises wird an vier, 90 Grad voneinander entfernten Zeigern abgelesen, deren unveränderliche Stellung gegen den Horizont, durch ein, die Richtung der Schwere bemerklich machendes Mittel — die Wasserwage — zur Zeit jeder Beobachtung hervorgebracht wird. Reichenbach fand sich, durch die gelungene Vergrösserung der Genauigkeit der Theilungen, berechtigt, die Halbmesser seiner Kreise, vergleichungsweise mit früheren Instrumenten, noch beträchtlich zu verkleinern, wodurch verschiedene, sich zugleich mit ihnen vermindernde Schwierigkeiten, mehr oder weniger vollständig vermieden wurden. Diese Instrumente können so angewandt werden, dass sie grössere Sicherheit gegen beständige Fehler gewähren, als die Troughtonschen Meridiankreise; die zufälligen Fehler der einzelnen Beobachtungen lassen sie aber grösser als diese, hauptsächlich weil ihre Ablesung weniger vollkommen eingerichtet ist. — Noch weit vollendeter als diese Instrumente, sind die Meridiankreise, die die Brüder Repsold den Sternwarten in Hamburg, Königsberg und Pulkowa neuerlich geliefert haben. Die Einsicht und Kunst des Meisters zeigt sich in ihrem festeren, schöneren Bau, in der allersorgfältigsten Ausführung, in der höchsten Steigerung der Sicherheit

ihrer Ablesungen. Die letztere ist so gross, dass der Ort jedes der mikroskopischen Zeiger, deren vier vorhanden sind, selten zwei Zehntel einer Secunde zweifelhaft bleibt, welche, auf der Theilung von anderthalb Fuss Halbmesser, etwa ein Achtzigtel der Dicke eines Menschenhaars betragen.

Nachdem ich die bewunderungswürdigen Fortschritte der Kunst dargestellt habe, welcher die Astronomie ihre Hülfsmittel verdankt, bleibt mir noch übrig, zu zeigen, was, zur Erlangung ihnen angemessener Beobachtungen, ausser ihrem Besitze und ihrer sorgfältigen Anwendung, noch erforderlich ist. Auf je grössere Genauigkeit ein Instrument Anspruch giebt, desto nothwendiger wird, dass der Beobachter Alles was seine Angabe entstellen kann, kennen und seinen Einfluss beseitigen lerne. Als die Theilungen des Instruments, die Stärke seines Fernrohrs, seine Ablesung ...... eine Beobachtung noch viele Secunden zweifelhaft liessen, würde es kaum ein Interesse gehabt haben, Mittel zu suchen, wodurch weit kleinere Einflüsse, z. B. Biegungen durch die Schwere, Wirkungen von Ungleichheiten der Wärme u. s. w., erkannt und aus den Resultaten weggeschafft werden können; wogegen dieselben Einflüsse, indem sie bei der jetzt erlangten Vollendung der Meridiankreise, so gross oder grösser sein können als die noch übrige Unsicherheit der Beobachtungen, diese in einem viel grösseren Verhältnisse als früher vermehren, und damit dem Erfolge der Vervollkommnung viel nachtheiliger entgegentreten würden.

Das Ziel der Beobachtungskunst, nämlich die Befreiung der beobachteten Oerter der Gestirne an der Himmelskugel, von jedem ihnen fremdartigen Einflusse, muss also desto vollständiger erreicht werden, je weiter die Kunst der Verfertigung der Instrumente fortschreitet. Obgleich der zu diesem Ziele führende Weg für jede andere Beobachtungsart, für jeden anderen Apparat, ein anderer ist, und daher der in jedem besonderen Falle zu wählende, nicht nach einer allgemeinen Vorschrift gefunden werden kann, so mag doch die Beschreibung des in einem Falle gewählten, hier eine Stelle finden. Indem sie zu beachtende Momente an den Tag legen wird, wird sie wenigstens das Ziel der Beobachtungskunst und ihre Wichtigkeit für die Astronomie anschaulich machen. Die — in der Zeit anstrengender Kriege erbauete und dadurch ihrem Stifter, Friedrich Wilhelm III., zu einem rühmenden Denkmale gewordene — Königsberger Sternwarte, besass anfänglich (1813) schwächere Instrumente, welchen aber 1820 ein Reichenbachscher Meridiankreis, und 1841 ein Repsoldscher an die Seite gesetzt wurde. Nur von den sich auf den letzteren beziehenden Massregeln werde ich reden, indem seiner grösseren Vollendung die grössere Vollständigkeit derselben angemessen war. Ich habe schon die überraschende Sicherheit angegeben, welche die Ablesung jedes seiner mikroskopischen Zeiger gewährt: damit sie einer Beobachtung wirklich nützlich werde, ist erforderlich, dass Alles was Einfluss auf diese erhalten kann, mit ihr angemessener Sicherheit bekannt werde.

Zuerst werde ich die Einflüsse der Ungleichheit der Wärme in der Sternwarte betrachten. Ich habe das hunderttheilige Thermometer, an dem oberen Rande des Kreises oft einen Grad höher gefunden, als an dem unteren, und ferner, dass diese Wärmeverschiedenheit den oberen Halbkreis, vergleichungsweise mit dem unteren, etwa anderthalb Secunden verlängert. Hieraus wird offenbar, dass die Theilstriche, durch die Wärmeverschiedenheit, gegen welche der Kreis nicht geschützt werden kann, beträchtlich über die Sicherheitsgrenze ihrer Ablesungen hinaus, von ihrem Orte gerückt werden können. Da das Thermometer wohl die Wärmeverschiedenheit der Luft neben dem Kreise, nicht aber den Einfluss kennen lehren kann, den sie auf den, während der Beobachtungen seine Lage gegen den Horizont ändernden Kreis, in jedem Augenblicke erlangt, und man damit die Grundlage einer Berechnung der jedesmaligen Grösse der aus dieser Ursache entstehenden, veränderlichen Theilungsfehler entbehrt, so ist eine Aufklärung, welche die Theorie über ihr Verhalten an verschiedenen Punkten des Kreises giebt, das Einzige, was man von ihnen weiss. Diese ist aber hinreichend: sie zeigt, dass, obgleich die Aenderung des Kreises durch die Wärmeverschiedenheit, in der Ablesung jedes der Zeiger, erheblich hervortreten kann, sie an verschiedenen Punkten desselben immer so beschaffen ist, dass das Mittel der Ablesungen aller vier als frei davon zu betrachten ist; sie lehrt dadurch einen entscheidenden Vorzug der ganzen Kreise vor den Quadranten,

und der grösseren Zahl ihrer Zeiger vor einer kleineren, kennen. — Indessen äussert die Wärmeverschiedenheit noch einen anderen Einfluss, indem sie die Oerter der Zeiger selbst verändert. Von diesem zweiten, ganz unbekannt bleibenden, also als zufällig zu betrachtenden Einflusse, wird die Beobachtung befreiet, wenn, unmittelbar vor oder nach ihr, die Absehenslinie des Fernrohrs lothrecht gerichtet und auch diese Richtung an dem Kreise abgelesen wird, so dass die unbekannt bleibenden Ortsveränderungen der Zeiger, gleichen Einfluss auf beide Ablesungen erhalten und daher die Richtigkeit ihres Unterschiedes — der Entfernung des Gestirns vom Scheitelpunkte — nicht beeinträchtigen. Die lothrechte Richtung des Fernrohrs, wird eben so leicht als vollkommen, durch eine, dem scharfsinnigen Bohnenberger zu verdankende Methode gefunden, welche ich nicht unerwähnt lassen darf, da sie ein wesentlicher Beitrag zur Beobachtungskunst ist. Indem parallele Strahlen, die in das Objectivglas des Fernrohrs einfallen, in seinem Brennpunkte, wo sich die Fäden befinden, vereinigt werden, werden auch von den Fäden ausgehende, nach ihrem Durchgange durch das Objectiv parallel. Fallen diese Strahlen auf eine spiegelnde Ebene, auf welcher die Absehenslinie des Fernrohrs nahe senkrecht steht, so kehren sie, von ihr zurückgeworfen, wieder zu dem Objective zurück, werden durch dieses wieder vereinigt und erzeugen dadurch ein Bild der Fäden, welches desto näher bei den Fäden selbst erscheint, je näher senkrecht

die Absehenslinie des Fernrohrs auf der spiegelnden Ebene steht; wird diese Stellung genau senkrecht so fallenBild und Fäden zusammen. Man erlangt eine spiegelnde Ebene und zwar eine genau horizontale, durch die ruhige Oberfläche einer Flüssigkeit: wird daher ein mit Quecksilber gefülltes Gefäss unter das Instrument gestellt und das Fernrohr nach Unten gerichtet, so dass das Bild der Fäden mit ihnen selbst zusammenfällt, so ist dieses der Beweis seiner geforderten, lothrechten Stellung. Diese Methode lässt nichts zu wünschen übrig. Offenbar macht sie nicht allein die von Wärmeverschiedenheiten herrührende, sondern jede Aenderung der Stellungen der Zeiger unschädlich, befreiet also die Beobachtungen auch von der Voraussetzung der Unveränderlichkeit der Steinpfeiler.

Ferner müssen die Einflüsse der Schwere auf das Instrument aus den Resultaten fortgeschafft werden. Sowohl die Absehenslinie des Fernrohrs, als auch der Kreis, können dadurch geändert werden. Beide Hälften des Fernrohrs, die das Objectiv und die die Fäden und das Ocular tragende, krümmen sich, wenn das Fernrohr sich nicht in lothrechter Lage befindet, durch ihre eigene Schwere nach Unten; wenn diese Krümmungen gleich gross sind, so haben sie keinen Einfluss auf die Richtung der Absehenslinie, den sie aber, bei ungleicher Grösse erlangen. Der Kreis erfährt jedenfalls eine Formänderung und damit erfahren seine Theilstriche Verschiebungen; denn sein nach Oben gerichteter Radius verkürzt sich durch die Schwere, der nach Unten gerichtete verlängert sich,

die wagerechten Radien krümmen sich nach Unten; er hört auf kreisrund zu sein und wird eine wenig von dem Kreise verschiedene Linie. Die Bestimmung der aus dieser Ursache hervorgehenden Veränderungen, sowohl des Fernrohrs, als des Kreises, fällt der Lehre vom Gleichgewichte anheim, aber diese kann sie nur ergeben, wenn bekannt ist, welche Schwere jeder Theil des Instruments besitzt und wie stark er der Formänderung widersteht, welche die Schwere des Ganzen hervorzubringen strebt. Der einfachste Fall, die völlige Gleichheit des Metalls an allen Punkten, darf nicht vorausgesetzt werden; und mit der Kenntniss der — ohne Zweifel immer vorhandenen — Ungleichheiten fehlt zugleich die Berechtigung zu einer anderen Annahme. Hier hilft wieder die Theorie, indem aus der Lehre vom Gleichgewichte der Beweis einer merkwürdigen allgemeinen Eigenschaft gezogen werden kann, welche, wie auch die Beschaffenheit der Ungleichheiten in jedem besonderen Falle sein mag, lehrt, dass der Einfluss der Schwere durch geeignete Anordnung der Beobachtungen, völlig vermieden werden kann. Die Entfernung eines Sterns vom Scheitelpunkte ist der Entfernung seines, von einer Quecksilberoberfläche reflectirten Bildes vom Fusspunkte gleich, so dass sie ebensowohl unmittelbar durch den Stern, als auch mittelbar durch sein Bild gemessen werden kann; geschieht beides, erst in einer Lage der Axe des Instruments, dann in der anderen, so dass dadurch vier Messungen der Entfernung des Sterns vom Scheitelpunkte erlangt werden,

Theile dieser Aufgabe die Rede sein, von dem den Magnetismus der Erde angehenden.

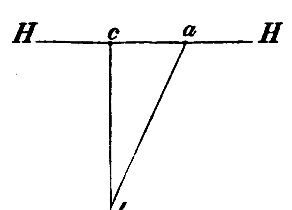
Herr von Humboldt selbst und später Andere, haben die magnetischen Intensitäten an vielen Punkten der Erde mit einander verglichen, durch ein Verfahren, welches auf der Beobachtung der Schwingungszeit einer wagerecht aufgehängten Magnetnadel beruhet, welche nach und nach an diese Punkte gebracht wurde. Ich werde versuchen, die Verbindung zwischen dieser Beobachtung und der magnetischen Intensität zu erläutern. Indem die wagerecht aufgehängte Nadel nur in der Richtung des magnetischen Meridians zur Ruhe kommen kann und in jeder anderen das Bestreben zeigt, sich der ersteren zu nähern, so äussert sich die Wirkung der magnetischen Kraft auf sie in einer, stets dem magnetischen Meridian zugewandten Drehungsgeschwindigkeit, welche diese Kraft ihr in jedem Augenblicke ertheilt, in welcher sie ihrer freien Bewegung überlassen ist. Wird die Nadel um einen beliebigen Winkel von dem magnetischen Meridiane entfernt und dann freigelassen, so fängt sie also augenblicklich an, sich auf ihn zu drehen; der nächste Augenblick vermehrt ihre im ersten erlangte Drehungsgeschwindigkeit; der folgende vermehrt sie wieder u. s. w. was so lange fortgeht, bis die Nadel den magnetischen Meridian erreicht. Die Drehungsgeschwindigkeit, welche sie dann erlangt hat, entfernt sie nach der der ersten entgegengesetzten Seite wieder von dem magnetischen Meridiane; aber die magnetische Kraft wirkt ihr nun entgegen und raubt einen

Theil davon nach dem anderen, in derselben Art, in welcher sie vorher diese Theile gegeben hat. Die Geschwindigkeit vermindert sich also nach und nach, bis zu ihrer gänzlichen Zerstörung, welche in demselben Augenblicke eintritt, in welchem die Nadel zu einem, dem anfänglichen gleichen, aber auf der entgegengesetzten Seite des magnetischen Meridians liegenden Winkel gelangt. Hier würde sie zur Ruhe kommen, wenn nicht die fortwährende Wirkung der magnetischen Kraft sie wieder dem magnetischen Meridian näherte und eine zweite, der vorigen gleiche, nur in entgegengesetzter Richtung vor sich gehende Schwingung erzeugte. Auf dieselbe Art folgt eine dritte Schwingung aus der zweiten, eine vierte aus der dritten u. s. w. — Diese Darstellung erklärt, wie die magnetische Kraft die Ursache einer fortgehenden Reihe von Schwingungen wird. Je stärker diese Ursache wirkt, oder je grösser die Kraft ist, welche die nicht im magnetischen Meridiane befindliche Nadel zu ihm drehet, desto grösser ist auch die von ihr erzeugte Drehungsgeschwindigkeit, desto kürzer also die Dauer einer Schwingung. Wenn eine Nadel an verschiedenen Orten der Erde verschiedene Schwingungszeiten zeigt, so deutet sie dadurch auf eine Verschiedenheit der vorher näher bezeichneten Kraft, deren Grösse also durch die Beobachtung der Schwingungszeiten verglichen wird. Wenn der Magnetismus der Nadel selbst, zwischen ihrer Schwingung an den verschiedenen Orten der Erde, keine Aenderung erfahren hat, so rührt die Verschiedenheit ihrer Schwin-

gungszeiten allein von einer verschiedenen Stärke der sie dem magnetischen Meridiane nähernden Kraft der Erde her. Wählt man, zur Vergleichung der Aeusserungen dieser Kraft an verschiedenen Orten, eine sorgfältig magnetisirte Nadel vom härtesten Stahl und schützt man sie vor zu grosser Nähe anderer Magnete, so bewahrt sie ihren Magnetismus fast ungeändert, wovon ihr Zurückbringen an einen Ort, wo ihre Schwingungszeit schon früher beobachtet worden ist, überzeugen kann. Die Einfachheit dieses Mittels, die Intensität des Theils der magnetischen Kraft der Erde, welcher in wagerechter Richtung wirkt, kennen zu lernen, hat seine sehr häufige Anwendung zur Folge gehabt; so dass die verhältnissmässig kurze Zeit seit seiner Geltendmachung schon hingereicht hat, uns den magnetischen Zustand der Erde auch in dieser Beziehung kennen zu lehren. Ich kann die Reisenden nicht alle nennen, welche ausser Alexander von Humboldt selbst, zu diesem Reichthume beigetragen haben. Adolph Erman, Freycinet, Hansteen und Due, Lütke, Sabine ...., haben grosse Theile davon geliefert; der erstere den grössten, der auch den Vortheil hat, auf einer die Erde ganz umschliessenden Reise gesammelt zu sein, und in der Regel für jeden Tag die vollständige magnetische Bestimmung, also Declination, Inclination und Intensität anzugeben.

Die Kraft, welche durch die Schwingungen einer wagerecht aufgehängten Nadel verglichen wird, ist nur an den Orten der Erde ihre ganze magnetische

Kraft, wo diese in derselben Ebene wirkt, in welcher die Nadel schwingt, also in der wagerechten. Ich habe aber schon angeführt, dass dieses nur an gewissen Punkten der Erde der Fall ist, und dass die magnetische Kraft im Allgemeinen gegen den Horizont geneigt ist; an zwei einzelnen Punkten sogar senkrecht auf ihm steht. Aus dem von der wagerecht aufgehängten Nadel verrathenen, wagerecht wirkenden Theile der magnetischen Kraft, kann indessen die ganze gefunden werden, sobald auch die Neigung der letzteren beobachtet worden ist. Um zu verstehen, welcher Zusammenhang zwischen beiden ist, muss man sich erinnern, dass eine Kraft immer durch zwei andere Kräfte ersetzt werden kann, welche durch die beiden kürzeren Seiten eines rechtwinklichten Dreiecks dargestellt werden, dessen längste Seite die erstere darstellt. Bringt man daher eine, die ganze Kraft darstellende Linie *a b* in die Lage gegen den Horizont *H H*, welche diese Kraft besitzt, und beschreibt man das Dreieck *a b c*, von dessen beiden kürzeren Seiten eine (*a c*) wagerecht, die andere (*c b*) lothrecht ist, so stellen diese beiden Seiten die wagerecht und lothrecht wirkenden beiden Kräfte dar, deren Zusammenwirkung die ganze Kraft *a b* ersetzt. Da man das Verhältniss von *a b* zu *a c* durch den Winkel zwischen diesen beiden Linien — die magnetische Neigung — kennt, so kennt man auch *a b*



oder die ganze Kraft, sobald die Schwingungen der Nadel ihren horizontal wirkenden Theil ac kennen gelehrt haben. Auf diese Art hat man also auch die Intensität der ganzen magnetischen Kraft an denselben Punkten der Erde gefunden, wo die wagerecht schwingende Nadel ihren horizontalen Theil ergeben hat. Es ist daraus hervorgegangen, dass jene keineswegs gleich gross an allen diesen Punkten ist, sondern Verschiedenheiten zeigt, welche vom Einfachen bis über das Doppelte hinausgehen. Auch diese Intensität kann man durch krumme, auf eine Karte gezogene Linien darstellen, ähnlich mit den schon erwähnten Darstellungen der Declination und Inclination; so dass drei Karten den magnetischen Zustand der Erde vollständig anschaulich machen.

Dieser Zustand ist aber keineswegs beständig; vielmehr zeigt er mehrere, in der Art ihres Hervortretens und vermuthlich auch in ihrer Ursache verschiedene Veränderungen. Eine derselben geht langsam vor sich, aber dafür während einer langen Zeit immer in einem gleichen Sinne, und gelangt dadurch zu so grosser Ausdehnung, dass sie die Lage und vermuthlich auch die Figur der auf den Karten dargestellten magnetischen Linien gänzlich umgestalten wird. Als Beispiel davon führe ich an, dass die magnetische Abweichung in London, im J. 1580 etwa 11° östlich war und jetzt etwa 24° westlich, auch wieder im Abnehmen begriffen ist; ebendaselbst war die Neigung im J. 1576 nahe an 72°, wuchs dann, bis etwa 1720, um einige Grade und nahm von dieser Zeit bis

jetzt bis auf etwa 69° ab. Obgleich man sowohl die Abweichung, als auch die Neigung bis zu einem grössten Werthe wachsen und von da an wieder abnehmen gesehen hat, man auch gewöhnt ist, alle grossen Veränderungen in der Natur als periodisch sich wiederholend zu betrachten, so haben doch die Beobachtungen noch keineswegs ein Zeugniss für eine Umlaufsbewegung des magnetischen Zustandes der Erde abgelegt, noch viel weniger also ihre Periode bestimmt. Ueberhaupt weiss man von dieser grossen Veränderung wenig mehr, als dass sie vorhanden ist; auch ist für jetzt noch nicht viel mehr zu erwarten, da mehrere Jahrhunderte zu ihrer deutlichen Entwickelung erforderlich, die Beobachtungen aus früherer Zeit auch nicht vollständig genug sind, um, wenigstens ohne den Besitz einer leitenden Theorie, zu gegründeten Folgerungen zu berechtigen.

Eine zweite Art von Veränderungen des magnetischen Zustandes der Erde zeigt sich in einer täglich wiederkehrenden Schwankung desselben, ist aber bis jetzt nur in sofern anhaltend verfolgt worden, als sie sich in der Abweichung äussert. In unseren Gegenden der Erde zeigt die Nadel am Morgen jedes Tages am östlichsten, bald nach Mittag am westlichsten. An mehreren Orten sind anhaltende Beobachtungen hierüber gemacht, welche ergeben haben, dass die Grösse der täglichen Variation der Abweichung sich mit den Jahreszeiten ändert. In Göttingen war sie, von 8 Uhr Morgens bis 1 Uhr Nachmittags, einer von Gauss angefangenen und später von Herrn

Dr. Goldschmidt übernommenen, jetzt sechs Jahre umfassenden Beobachtungsreihe zufolge, im April am grössten und im December am kleinsten (etwa 15 Minuten und 5 Minuten). In der tropischen Gegend der Erde ist die tägliche Veränderung kleiner; in der südlichen Halbkugel scheint, im Allgemeinen, Morgens die westlichste, Nachmittags die östlichste Richtung der magnetischen Kraft einzutreten. In der Nacht kommen, im Allgemeinen, weit kleinere Veränderungen dieser Art vor, als am Tage. Eine den Jahreszeiten folgende Veränderung der mittleren täglichen Richtung der Nadel, haben die Beobachtungen bis jetzt nicht mit Bestimmtheit verrathen.

Eine dritte Art von Veränderungen des magnetischen Zustandes der Erde zeigt sich ohne Verbindung mit der Tages- und Jahreszeit; sie tritt ganz unerwartet ein und vermehrt und vermindert sich eben so unerwartet. Sie bringt hervor, dass z. B. eine wagerecht aufgehängte Nadel fortwährend ihre Richtung verändert, oft zwar weniger merklich, zuweilen aber auch in wenigen Minuten einen halben Grad oder mehr. Diese schnellen Veränderungen haben Aufmerksamkeit erregen müssen, seitdem Coulomb eine Nadel, nicht nur — durch ihre Aufhängung an einem ungedreheten Seidenfaden — so beweglich machte, dass sie den kleinsten Aenderungen der Richtung der magnetischen Kraft folgen konnte, sondern auch, durch angebrachte Mikroskope, für die Erkennung und Messung derselben sorgte; welche Einrichtung später durch den berühmten Mechaniker Gambey in der

grössten Vollendung ausgeführt worden ist und dadurch sehr allgemeine Verbreitung erlangt hat. — Die Bewegungen der Nadel, von welchen hier die Rede ist, erscheinen etwa so, als würden sie durch die Anziehung kleiner, in der Nähe befindlicher und ohne Regel und Absicht bewegter Eisenmassen erzeugt. Allein dieses Ansehen hat schärfer blickende Naturforscher nicht getäuscht; es hat ihnen nicht verborgen, dass die unerwartet und plötzlich eintretenden Veränderungen nicht örtliche Störungen der Richtung der Nadel sind, sondern Einflüsse auf dieselbe, welche sich an weitentfernten Punkten der Erde gleichzeitig zeigen. Herr von Humboldt wurde durch seine in Berlin vorgenommene Verfolgung des Ganges der Nadel von halber zu halber Stunde, und durch die plötzlichen, sich darin zeigenden Störungen, schon 1806 und 1807 veranlasst, von östlich und westlich von seinem Beobachtungsorte anzustellenden, gleichzeitigen Beobachtungen Aufklärungen über die Natur dieser Störungen zu erwarten; allein sein darauf folgender langer Aufenthalt in Paris und die politischen Ereignisse der Zeit verhinderten die Anordnung solcher Beobachtungen, bis sie durch einen ausgezeichneten Erfolg Arago's in's Leben gerufen wurden. Dieser grosse Physiker hatte Massregeln zur ausgedehnteren Verfolgung der magnetischen Erscheinungen in Paris in Wirksamkeit gesetzt; wovon eine der Früchte war, dass er der — älteren — Bemerkung des Einflusses der Nordlichter auf die Magnetnadel neues Gewicht verleihen und auch zeigen konnte, dass dasselbe nicht auf Gegenden

der Erde, wo sie sichtbar sind, beschränkt ist. Herr Kupffer hatte die Magnetnadel während eines Nordlichts in Casan beobachtet, und die Vergleichung ihrer Bewegungen mit den in Paris wahrgenommenen zeigte zum erstenmale ihre Gleichzeitigkeit an beiden Orten. In den Jahren 1828—1830 finden wir eine von Humboldt veranlasste Beobachtungsreihe im Gange, welche an vorher verabredeten Tagen, den Gang der wagerechten Magnetnadel in Berlin, Freiberg (in einem Stollen 35 Lachter unter Tage), Petersburg, Casan, Nicolaef und Marmato (in Columbia) verfolgt, ihre Richtung von Stunde zu Stunde angiebt und Beispiele von der Gleichzeitigkeit, nicht allein der grösseren, durch sichtbare Nordlichter hervorgebrachten, sondern auch kleinerer Störungen ohne sichtbare Veranlassung liefert. Aber von 1836 an verdanken wir den Bemühungen von Gauss eine noch genauere Kenntniss dieser merkwürdigen unregelmässigen Bewegungen. Von seinen Bemühungen um die Erforschung des Magnetismus der Erde werde ich noch Vieles zu berichten haben; hier erwähne ich nur, dass er einer Beobachtungsreihe, welche die Verfolgung der Magnetnadel bis in die kleinsten Einzelnheiten ihrer Bewegungen zum Zwecke hatte, viele Theilnehmer erwarb, von deren Standpunkten einige Göttingen näher sind, andere sich in entferntere Theile Europas zerstreuen. Alle diese Theilnehmer benutzen Magnetnadeln von grösserer Schwere als bisher üblich gewesen ist; sie sind an langen Fäden ungedreheter Seide, von der Decke des Zimmers herab, aufgehängt;

ihre Richtung wird nicht durch Mikroskope, sondern aus grösserer Entfernung durch ein Fernrohr beobachtet, welches das von einem an der Nadel befestigten Spiegel reflectirte Bild der Eintheilung eines, an seinem Fusse befindlichen Massstabes zeigt. Die Beobachtung ihrer Richtung ist nicht weniger genau als die der Gambey'schen Magnetnadel und gewährt den Vortheil, aus grösserer Entfernung gemacht zu werden, wodurch plötzliche Bewegungen, welche die Nähe des Beobachters veranlassen kann und ein Luftzug, welcher durch seine Körperwärme erzeugt wird, die Kraft verlieren, nachtheilige Einflüsse auf die Richtung der Nadel zu äussern. Später hat Gauss der Erfindung dieses, durch zweckmässige Anwendung zur Bestimmung der Declination der Magnetnadel und ihrer Veränderungen führenden Apparats, noch die, auf einem neuen und fruchtbaren Principe beruhende, einer zweiten hinzugefügt, wodurch es möglich wird, auch die Veränderungen der horizontalen Intensität mit gleicher Schärfe und Leichtigkeit zu erkennen. — Die Einrichtung der Beobachtungsreihe ist so getroffen, dass alle Beobachter, wo auf der Erde sie sich auch befinden mögen, die Angaben ihrer Apparate in genau gleichen Momenten, an vorher verabredeten Tagen, von 5 zu 5 Minuten aufzeichnen. — Eine solche Beobachtungsreihe, welche nun schon länger als 4 Jahre fortgesetzt worden ist, musste das Verhalten der Störungen der magnetischen Kraft der Erde, insofern sie sich in der Declination und horizontalen Intensität äussern, bis in seine kleinsten Einzelnheiten kennen

lehren. Sie hat unzählige Bestätigungen der Gleichzeitigkeit kleinerer und grösserer, mehr oder weniger plötzlich eintretender und verschwindender Einwirkungen auf die Magnetnadeln geliefert; sie hat gezeigt, dass diese Aenderungen an nördlicheren Oertern in Europa, im Allgemeinen, grösser sind als an südlicheren und dadurch angedeutet, dass ihre Ursachen meistens gegen Norden von uns zu suchen sind; sie hat jedoch auch Ausnahmen von dieser Regel kennen gelehrt, welche wahrscheinlich machen, dass sie, wenn auch vorzugsweise, doch nicht ausschliesslich, von den Polargegenden der Erde ausgehen.

Die verschiedenartigen Aeusserungen des Magnetismus der Erde, von welchen ich eine Andeutung versucht habe, haben, durch ihre Verfolgung durch Beobachtungen, den Besitz geliefert, welcher mehr oder weniger vollständig zusammengebracht werden muss, ehe eine mehr oder weniger vollständige Erklärung dieser merkwürdigen Eigenschaft der Erde versucht werden kann. Wenn ich von Erklärung rede, so muss man darunter keineswegs die Antwort auf die Frage verstehen, warum die Erde Magnetismus besitzt, da sie doch auch ohne ihn bestehen könnte; ebensowenig muss man dabei an eine Speculation über die erste Ursache der magnetischen Kraft selbst denken, welche stets ebenso verborgen bleiben wird, als die ersten Ursachen aller Kräfte. Die Erklärung ist vielmehr nichts anderes, als die Verfolgung des Zusammenhanges zwischen den einfachsten Aeusserungen derselben Kraft, welche wir an den

Tag zu legen vermögen, und den verwickelten welche der Erdkörper uns zeigt. Sie ist also die Angabe einer einfacheren Regel, aus welcher die zusammengesetztere Erscheinung folgt; sie wird desto befriedigender, je einfacher die Erscheinung, von welcher sie ausgeht und je verwickelter die ist, wohin sie gelangt. Wir wollen uns wenigstens einen Theil der letzteren zu veranschaulichen suchen, damit wir das Ziel der Erklärung etwa in derselben Art vor Augen haben mögen, in welcher der Naturforscher, der den Chimboraço zuerst bestieg, seinen Gipfel vorher durch sein Fernrohr kennen lernte. Wir werden uns leicht überzeugen, dass der Weg zu diesem Ziele über abschreckende Schwierigkeiten führt; über so grosse, dass nicht zu verwundern ist, wie mehrere Versuche sie zu überschreiten fruchtlos blieben ehe ein Versuch gelang.

Ich glaube, dass ein Blick auf eine Karte, welche die magnetischen Declinationen auf der Erde darstellt, hinreichend ist, die Grösse der Schwierigkeiten der Erklärung fühlbar zu machen. Ich werde die Linie verfolgen, welche die Punkte der Erde verbindet, wo die Declination verschwindet, oder die horizontale magnetische Kraft genau von Süden nach Norden gerichtet ist. Der neuesten, auf Beobachtungen allein gegründeten Karte zufolge, welche Adolph Erman gegeben und die königl. Londoner Societät der Wissenschaften bekannt gemacht hat, kommt diese Linie aus dem unzugänglichen Eise des Nordpols herab, geht durch das weisse Meer, durch Russland, das kaspische

Meer, zieht um die Halbinsel Indiens diesseits des Ganges herum, wendet sich dann wieder nach Norden, durchschneidet die Halbinsel jenseits des Ganges, zieht bis in die Nähe der Nordsibirischen Küste, von wo sie, zwischen Kamtschatka und Japan hindurch, wieder zur Halbinsel jenseits des Ganges zurückführt, dann das indische Meer und Neuholland durchschneidet und endlich, im südlichen Polareise, nicht weiter verfolgt werden kann. Aber sie tritt in dem amerikanischen Meere wieder aus diesem Eise hervor, führt durch Brasilien, das Antillenmeer, die Vereinigten Staaten von Nordamerika, die Hudsonsbay in das Polareis zurück, von welchem ausgehend ich ihren Zug zu beschreiben angefangen habe. Nicht ähnliche, aber nicht minder auffallende und unregelmässige Züge, nehmen auch die übrigen Declinationslinien, nämlich die Linien, welche die Punkte der Erde verbinden, wo die Declination bestimmte Werthe hat, z. B. 10°, 20°, 30° u. s. w. östlich oder westlich. — Die Erklärung soll also diese Verschlingung der Declinationslinien entwirren; sie soll sie als Folgen der Eigenthümlichkeiten geltend machen, welche die magnetische Kraft in ihrem einfachsten Auftreten characterisiren. Aber dieselbe Erklärung soll noch viel mehr leisten; sie soll auch die Züge der Inclinationslinien und der Intensitätslinien folgern; sie soll endlich von den Veränderungen Rechenschaft geben, welche alle diese Linien erfahren, sowohl von den sich im Laufe der Zeit anhäufenden, als von den in täglicher Periode wiederkehrenden.

Indessen treten die von den Naturerscheinungen ausgehenden Wissenschaften Anfangs bescheiden auf; mit gesteigerten Forderungen erst, nachdem sie die Befriedigung geringerer erlangt haben. Nicht am Anfange hat die Wissenschaft des Erdmagnetismus die eben bezeichnete Art der Erklärung als Forderung ausgesprochen. Sie konnte sie erst geltend machen, nachdem die Beobachtung den magnetischen Zustand der Erde so kennen gelehrt hatte, dass daraus die Mittel zu ihrer, wenigstens theilweisen Befriedigung hergenommen werden konnten. Bis dahin musste die Vervollständigung der Beobachtung die Aufgabe sein, sie wird auch noch lange Aufgabe bleiben, selbst nachdem Gauss die Forderung ausgesprochen und, so weit es bis jetzt möglich ist, erfüllt hat. Denn sie ist noch weit entfernt, Alles geliefert zu haben, was der vollständigen Befriedigung der Forderung vorangehen muss. Sie bedurfte sogar noch des Zusatzes einer neuen Methode, ehe sie sich im Stande erklären konnte, Rechenschaft abzulegen von allen Veränderungen, welche die magnetische Kraft der Erde im Laufe der Zeit erfahren kann.

Aus der oben versuchten Erläuterung des Mittels, wodurch die magnetische Intensität an vielen Punkten der Erde verglichen worden ist, geht nämlich hervor, dass diese Vergleichungen auf der Voraussetzung beruhen, dass der Magnetismus der Nadel selbst, während ihrer Zwischenzeit, keine Veränderung erfahren habe. Diese Voraussetzung kann als erlaubt betrachtet werden, wenn die Zwischenzeit eine kurze ist und

die Nadel mit gehöriger Vorsicht verfertigt und behandelt wird; aber sie verliert ihre Sicherheit, wenn von Vergleichungen die Rede ist, zwischen welchen eine unbestimmt lange Zeit verfliesst; sogar scheinen Versuche Wilhelm Webers zu zeigen, dass jede Abwechslung der Wärme der Nadel eine kleine bleibende Verminderung ihrer magnetischen Kraft hervorbringt. Wenn also die Veränderungen, nicht allein der Richtung der magnetischen Kraft — deren Erfindung durch Beobachtungen kein Hinderniss hat — sondern auch ihrer Intensität, unbedingt sollen erkannt werden können, so ist eine Methode nöthig, welche die letztere, von der Voraussetzung der Unveränderlichkeit einer Nadel unabhängig, kennen lehrt. Die Erfindung einer dieses leistenden Methode, verdanken wir dem Scharfsinne Poissons — des Geometers, dessen grosse Kräfte vorzugsweise der Bereicherung der Naturwissenschaften gewidmet wurden, dessen unvergängliche Leistungen ein viel zu früher Tod in ihrer vollen Kraft unterbrach. Ihre des Meisters der Geometrie und deren Anwendungen würdige Ausführung verdanken wir Gauss, der damit sein Eingreifen in die Lehre vom Magnetismus der Erde eröffnete.

Es würde mich zu weit führen, wenn ich mich hier auf eine Darstellung dieser Methode einlassen wollte; aber ich werde versuchen, den Weg, den sie nimmt, einigermassen anzudeuten. Ich habe schon angeführt, dass eine wagerecht aufgehängte Magnetnadel eine Drehungskraft zeigt und dass die Grösse derselben durch Beobachtung ihrer Schwingungszeit

gemessen werden kann. Diese Drehungskraft wird in demselben Verhältnisse grösser oder kleiner, in welchem entweder die eigene magnetische Kraft der Nadel, oder die magnetische Kraft der Erde grösser oder kleiner wird; das was ihre Bestimmung durch Beobachtung angiebt ist also das Product beider Kräfte. Wenn man ausser diesem Producte zweier Factoren, auch ihr Verhältniss zu einander, durch Beobachtung an den Tag legen könnte, so würde man sie trennen, oder jeden einzeln bestimmen können. Auf die Erfindung dieses Verhältnisses geht daher die Methode aus. Sie wendet eine zweite Magnetnadel an, deren Drehungskraft durch Beobachtungen bestimmt wird; sowohl die Drehungskraft, welche sie zeigt, wenn sie der magnetischen Wirkung der Erde ausgesetzt wird; als auch die, welche die in ihre Nähe gebrachte erste Nadel in ihr erregt. Die erste dieser Drehungskräfte ist das Product der magnetischen Kräfte der Erde und der zweiten Nadel; die andere das Product der magnetischen Kräfte beider Nadeln; ihr Verhältniss ist offenbar das Verhältniss der magnetischen Kräfte der Erde und der ersten Nadel, dasselbe Verhältniss also, welches man kennen musste, um durch seine Verbindung mit dem Anfangs bestimmten Producte der magnetischen Kräfte der Erde und der ersten Nadel, diese beiden Kräfte einzeln kennen zu lernen.

Ich glaube von den Experimenten, wodurch man zur vollständigen Kenntniss der magnetischen Kraft, an jedem zugänglichen Punkte der Erde und zu irgend

einer Zeit, gelangen kann, jetzt so viel gesagt zu haben, als erforderlich ist, die Möglichkeit der Erwerbung dieser Kenntniss anschaulich zu machen. Der Versuch, von ihr zur Erklärung des Magnetismuss der Erde zu gelangen, kann jedoch erst gelingen, wenn eine deutliche Vorstellung von der Art, wie die magnetische Kraft selbst sich in ihrem einfachsten Auftreten zeigt, ihm vorangegangen sein wird. — Nicht magnetisches Eisen wird von einer Magnetnadel angezogen; eine andere Magnetnadel aber wird von ihr entweder angezogen oder abgestossen, je nachdem das Nordende der einen und das Südende der anderen, oder die gleichnamigen Enden beider, einander genähert werden. — Wird eine Magnetnadel in mehrere Stücke zerbrochen, so zeigt jedes Stück dieselben Eigenschaften, welche die ganze Nadel zeigte; woraus man geschlossen hat, dass der Magnetismus eine Kraft ist, welche nicht etwa in den beiden Enden einer Nadel ihren Sitz hat, sondern welche jedes ihrer Theilchen besitzt.

Indem dieselbe Nadel, welche vor ihrer Magnetisirung keine Spur von magnetischer Kraft zeigte, sie nachher zeigt, geht hervor, dass der Act des Magnetisirens eine Veränderung ihrer Theilchen hervorbringt. Ihre körperliche Masse wird dadurch nicht verändert, denn das Gewicht der Nadel ist vor und nach ihrer Magnetisirung dasselbe. Man sieht die, nichts destoweniger in den einzelnen Theilen vorgegangene Aenderung daher als eine Trennung zweier, in jedem Theilchen in gleicher Quantität enthaltenen Stoffe an,

welche vor der Magnetisirung vereinigt waren und deren einer die Nordpolarität, der andere die Südpolarität äussert. Um sich diese Vorstellung zu versinnlichen, mag man die einzelnen Theilchen als kugelförmig annehmen. So lange beide Stoffe in einer solchen Kugel gleichmässig vertheilt sind, neutralisirt der eine den anderen und die Kugel zeigt weder die eine noch die andere Polarität; aber wenn sie getrennt werden, der eine sich also um das eine Ende eines Durchmessers der Kugel, der andere um sein anderes Ende zusammengehäuft findet, so wird dieser Durchmesser die magnetische Axe des Theilchens: er zeigt Polarität, oder er wendet sich, wenn die Kugel sich frei drehen kann, in die Richtung einer ausser ihr wirkenden magnetischen Kraft; er zeigt sie desto stärker, je weiter die Trennung der beiden Stoffe, oder je stärker ihre Zusammendrängung um seine beiden Enden ist. Dieser Vorstellung zufolge sind magnetisirbare Körper solche, in welchen, durch die Berührung mit einem Magnete, oder durch seine Nähe, eine Trennung der beiden Stoffe hervorgebracht werden kann. In einigen ist diese Trennung bleibend, in andern verschwindet sie mit dem Aufhören des Magnetisirens. Gehärteter Stahl gehört zu den ersteren, ganz weiches Eisen zu den letzteren.

Diese Vorstellung von der magnetischen Kraft vereinigt die Erfahrung, dass jeder kleinste Theil einer Magnetnadel die beiden Polariten besitzt, mit der Erfahrung, dass diese Polaritäten in den magnetisirbaren Körpern hervorgerufen werden können.

Ob sie physisch richtig ist, kann nicht entschieden werden; aber man würde sie verlassen und eine andere suchen müssen, wenn ihre Verfolgung bis zu irgend einer Aeusserung des Magnetismus, zu einem Widerspruche mit der Beobachtung führte. So lange dieses nicht ist, kann man sie, eben sowohl wie jede andere den Erfahrungen gleichfalls entsprechende, als ein Mittel betrachten, durch welches der Uebergang von der einfachsten Erscheinung der magnetischen Kraft zu zusammengesetzteren, erleichtert wird. Dieser Uebergang fordert aber, ausser der Vorstellung, noch die Kenntniss des Gesetzes, nach welchem die Stärke der Anziehung der beiden ungleichnamigen, und der Abstossung der gleichnamigen Stoffe, sich mit der Entfernung ändert. Dass diese Anziehung und Abstossung nicht etwa allein in der unmittelbaren Berührung stattfinden, sondern sich schon in einiger Entfernung äussern, zeigt eine an einem Faden aufgehängte Magnetnadel, deren Nord- oder Südende von dem Nord- oder Südende einer andern Nadel schon lange vor der Berührung abgestossen, oder von dem Süd- oder Nordende angezogen wird. Das Gesetz, nach welchem die Stärke der Abstossung zweier Theilchen der gleichnamigen Stoffe, und der Anziehung zweier Theilchen der ungleichnamigen sich richtet, ist das umgekehrte Verhältniss der Quadrate der Entfernungen; d. h. wenn zwei abstossend oder anziehend auf einander wirkende Theilchen des einen oder des anderen Stoffs, erst in eine gewisse Entfernung von einander, dann in die doppelte, dreifache, vierfache

u. s. w. gebracht werden, so sind ihre Wirkungen auf einander in den Verhältnissen 1, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$ u. s. w. Dieses ist dasselbe Gesetz, welches Newton von der Anziehung der Weltkörper nachgewiesen hat. Für die magnetischen Kräfte ist es aber nicht bloss dieser Analogie gemäss vorausgesetzt worden, sondern Coulomb und Hansteen haben es durch geeignete Beobachtungen an den Tag gelegt und Gauss hat diese so anzuordnen gewusst, dass ihre Beweiskraft dadurch vollständig geworden ist.

Nachdem nun die Art der Wirkung der beiden magnetischen Kräfte deutlich geworden ist, kann darauf die Untersuchung des Verhaltens eines magnetischen Körpers gegründet werden; d. h. der Stärke und Richtung der Polarität, welche er an beliebigen Punkten des ihn umgebenden Raumes hervorruft. Legt man durch den Mittelpunkt eines beliebigen der Theilchen des Körpers eine Ebene, so dass die magnetische Axe des Theilchens sie senkrecht durchschneidet, so äussert sich auf der Seite derselben, auf welcher der Nordpol des Theilchens sich befindet, Nordpolarität, auf der andern Südpolarität. Allen Punkten auf der ersten Seite ist nämlich der Nordpol des Theilchens näher als sein Südpol, wesshalb jener die Nordpolarität stärker äussert, als dieser die ihr entgegengesetzte Südpolarität, so dass, nachdem diese einen ihr gleichen Theil der ersteren vernichtet hat, noch ein Theil davon übrig bleibt; entgegengesetzt verhält es sich offenbar auf der anderen Seite der Ebene, wo also die Südpolarität vorherrscht. Die

Richtung der vorherrschenden Polarität ist offenbar die auf das magnetische Theilchen zugehende; ihre Stärke vermindert sich mit den Entfernungen der Punkte wo sie wirkt von dem magnetischen Theilchen und von der erwähnten Ebene; wenn die erstere Entfernung eine gegebene ist, so ist diese Stärke in der Richtung der magnetischen Axe des Theilchens am grössten. Jedes Theilchen des Körpers wirkt aber auf ähnliche Art, und die magnetische Wirkung des ganzen Körpers ist nichts anderes als die aus den Wirkungen aller seiner einzelnen Theilchen zusammengesetzte. Man begreift hieraus leicht, dass die magnetische Wirkung eines Körpers an irgend einem Punkte des Raums, durch Summation der Wirkungen seiner Theilchen gefunden werden kann, wenn die Stärke der Magnetisirung jedes derselben und die Figur des Körpers gegeben sind. Ich werde dieses an dem einfachsten Falle anschaulich zu machen suchen, an dem Falle einer sehr dünnen, ihrer ganzen Länge nach gleich stark magnetisirten Nadel, einer Nadel also, welche, in unzählige gleich lange Stücke zertheilt, eben so viele, einander gleiche Magnetnadeln ergeben würde. In der Verlängerung der Nadel, über ihr Nordende hinaus, äussert sie offenbar Nordpolarität, denn jedes ihrer Theilchen äussert diese — weil sein Nordpol näher ist als sein Südpol — stärker als die entgegengesetzte, so dass ein Theil davon übrig bleibt. Die Wirkung der ganzen Nadel ist die Summe aller dieser übrigbleibenden Theile der Nordpolarität; sie ist desto grösser, je näher der Punkt wo sie geäussert

wird am Nordende der Nadel ist, denn jedes Theilchen der Nadel lässt einen grösseren Rest der Nordpolarität übrig wenn es näher ist. In der Verlängerung der Nadel über ihr Südende hinaus, verhält es sich offenbar ganz ähnlich, mit dem einzigen Unterschiede, dass die hier vorherrschende Polarität die entgegengesetzte ist. — Die an einem zwischen beiden Enden der Nadel liegenden Punkte sich äussernde magnetische Wirkung kann leicht auf das eben Gesagte zurückgeführt werden. Ich glaube deutlicher sprechen zu können, wenn ich die Länge der Nadel einen Fuss nenne und ihre Wirkung an Punkten aufsuche, welche 1, 2, 3, 4, 5 Zolle von dem einen oder anderen ihrer Enden entfernt sind. Setzt man den Punkt, wo man sie kennen lernen will, einen Zoll vom Nordende entfernt, so äussert dieser Zoll Südpolarität, weil die Südpole seiner einzelnen Theilchen nun die nächsten sind; der nun folgende Zoll der Nadel äussert aber gleich starke Nordpolarität; beide Polaritäten vernichten sich vollständig und die Wirkung der ganzen Nadel ist keine andere, als die ihrer übrigen 10 Zolle. Die gesuchte Wirkung an dem, einen Zoll vom Nordende der Nadel, ihrer Mitte zu, entfernten Punkte ist also genau dieselbe, welche eine 10-zöllige Nadel an einem einen Zoll über ihr Nordende hinaus entfernten Punkte äussern würde. Wenn der Punkt, statt eines Zolls, resp. 2, 3, 4, 5 Zolle von dem Nordende der Nadel, ihrer Mitte zu, entfernt ist, so werden die Wirkungen, welche er erfährt, durch dieselbe Betrachtung, denen gleich gefunden, welche ähnliche Nadeln von resp.

8, 6, 4, 2 Zollen, in Entfernungen von resp. 2, 3, 4, 5 Zollen über ihre Nordenden hinaus, äussern würden. Diese Wirkungen nehmen also mit der Entfernung der Punkte wo sie stattfinden, von der Mitte der Nadel ab, und zwar aus dem zwiefachen Grunde der Verkürzung der sie äussernden Theile der Nadel und ihrer weiteren Entfernung; so wie ein Punkt in der Nordhälfte der Nadel, ihrem Mittelpunkte näher angenommen wird, erfährt er also immer schwächer werdende Nordpolarität; in der Mitte der Nadel verschwindet sie gänzlich; über die Mitte hinaus, dem Südende der Nadel zu, herrscht Südpolarität genau so vor, wie zwischen der Mitte und dem Nordende Nordpolarität. —

Was ich hier zur Erläuterung des einfachsten Falles gesagt habe, wird zwar kaum hinreichen, den Weg anzudeuten, welchen die ähnliche Untersuchung in weniger einfachen Fällen nimmt; aber es reicht hin, anschaulich zu machen, dass die Aeusserungen des Magnetismus eines Körpers, an verschiedenen Punkten des ihn umgebenden Raums sehr verschieden sind; dass bald die eine, bald die andere der beiden Polaritäten die überwiegende ist; dass die Stärke und Richtung ihrer Aeusserung sich gleichfalls, von dem einen Punkte zum anderen, bis zur gänzlichen Verschiedenheit ändern. Diese Aeusserung des Magnetismus eines Körpers an einem Punkte besteht also in einem Ueberschusse der Wirkungen des einen magnetischen Stoffs über die des anderen, in einem freien Hervortreten des ersteren, wesshalb sie auch der

freie Magnetismus des Körpers genannt wird. Dieser freie Magnetismus ist das, wodurch der magnetische Zustand eines Körpers sich allein verrathen kann, also auch das, was man davon, durch Beobachtungen, allein erkennen kann.

Ich wiederhole, dass die magnetische Wirkung, oder der freie Magnetismus eines Körpers, an einem beliebigen Punkte, durch Summation der Wirkungen seiner unzähligen Theilchen gefunden werden kann. Ein eigener Zweig der mathematischen Analyse — die Integralrechnung — gewährt immer die Mittel, die Summe der unzähligen Theile im Ganzen wirklich kennen zu lernen; aber von seiner Benutzung kann nur die Rede sein, wenn die zu summirenden Theile selbst bekannt sind. Auf die magnetische Wirkung eines Körpers angewandt heisst dieses, dass ein Kunstgriff des Calculs sie kennen lehren kann, wenn bekannt ist, welche ähnliche Wirkung jedes seiner Theilchen äussert, und welche Figur alle diese Theilchen umschliesst. Die letztere kann man durch Abmessungen des Körpers kennen lernen, aber die erstere verräth sich nirgends unmittelbar. Wie wenig die Figur eines Körpers allein seinen magnetischen Zustand andeuten kann, kann an einem magnetisirten Stahlstabe, dessen Durchschnittsfigur und Länge gegeben sind, anschaulich werden. Man kann seinen freien Magnetismus leicht berechnen, wenn man die Magnetisirung seiner Theilchen durchweg als gleich voraussetzt, und auch wenn man von anderen, einfachen Annahmen darüber ausgeht; jede solche Annahme wird ein regelmässiges

Fortschreiten der Stärke des freien Magnetismus, zwischen den beiden Enden des Stabes ergeben; in der Wirklichkeit wird er sich aber nie einer dieser Annahmen gemäss verhalten, sondern stets werden sich Unregelmässigkeiten zeigen, welche nur aus Unregelmässigkeiten der Magnetisirung des Inneren entstehen und so weit gehen können, dass man, an längeren Stäben, sogar mehrere Abwechselungen der beiden Polaritäten bemerkt hat.

Diese Bemerkung führt uns zu den Erscheinungen zurück, welche der grosse magnetische Körper, den wir bewohnen, uns darbietet. Der oben schon erwähnte unregelmässige Zug der Linien, wodurch man die Richtung und Stärke des freien Magnetismus der Erde darstellen kann, zeigt, dass die Vertheilung des Magnetismus in ihrem Innern keinesweges einem einfachen Gesetze folgt. Ein solches zu erwarten berechtigt uns die Beschaffenheit dessen was wir von der Erde kennen, nämlich ihrer Oberfläche, in der That nicht, denn sie bietet uns Abwechselungen der Gebirgsarten dar, deren einige magnetisch sind, während andere es nicht, oder in einem so schwachen Grade sind, dass wir nichts davon bemerken können. Die gleichfalls erwähnten langsameren und schnelleren Veränderungen des freien Magnetismus der Erde, welche die Beobachtungen zeigen, beweisen auch, dass ihre magnetische Beschaffenheit sich fortwährend ändert. — Es ist nicht denkbar, dass wir das je kennen lernen werden, was wir kennen müssten, um von ihm, auf dem geraden Wege der Rechnung zu

der Kenntniss des freien Magnetismus, der sich an jedem Punkte der Erdoberfläche zeigt, zu gelangen. Die Theorie erhält daher die Aufgabe, diejenigen Folgerungen von den beobachteten Erscheinungen auf ihre Ursache nachzuweisen, welche allein durch das Gesetz der Wirkung der magnetischen Kraft gerechtfertigt werden, also für jede beliebige Vertheilung des Magnetismus der Erde gleich wahr sind.

Die Theorie hat immer wenn sie die Verbindung zwischen Naturerscheinungen und ihrer Ursache verfolgt hat, eine Aufgabe ähnlicher Art aufzulösen gehabt. Aber diese konnte nie früher in ihrer wahren Gestalt hervortreten, als bis die Beobachtung von einer vorher nicht beachteten Erscheinung so viel verrathen hatte, dass es zur Hinweisung auf ihre Ursache hinreichte. So lange dieses noch nicht der Fall ist, ist nicht sowohl eine Aufgabe aufzulösen, als ein Räthsel zu errathen; ein Räthsel, welches durch die Auffindung einer — selbst nicht weiter zu rechtfertigenden — einfachen Annahme errathen wird, welche verschiedene der beobachteten Momente in einem Zusammenhange erscheinen lässt; ein Räthsel, welches offenbar nur dann errathen werden kann, wenn eine solche Annahme vorhanden ist. Obgleich selbst der glücklichste Erfolg des Rathens, indem er nur eine Annahme, nicht die Ursache der Erscheinung selbst sein kann, keine Erklärung derselben ist, so ist seine Aufsuchung doch weder ohne Reiz, noch, wenn sie gelingt, ohne Nutzen. Denn in diesem Falle vertritt sie die Beobachtungen selbst; indem sie das was diese von der

Erscheinung lehren, also das wovon die Erklärung Rechenschaft geben soll, in seinen kürzesten Ausdruck zusammenfasst. Ich darf nur die Hauptmomente der Entwickelung der Kenntniss des Weltgebäudes anführen, um ein Beispiel des Fortschreitens in dieser Art zu geben. Copernicus suchte eine einfache Annahme, wodurch ein Zusammenhang in die verwirrten Erscheinungen der Planetenbewegung gebracht werden konnte und fand sie in der Unbeweglichkeit der Sonne und excentrisch um sie beschriebenen Kreisbahnen der Planeten. Kepler erkannte, dass diese Annahme den Beobachtungen nur im Ganzen genüge, dass aber diese zu seiner Zeit schon hinreichten, zu zeigen, dass die Bewegungen nicht in Kreisen, sondern, nach gleichem Gesetze für alle, in Ellipsen vor sich gehen; er wies nach, dass diese Annahme Allem, was die Beobachtungen der Planeten von ihrer Bewegung verrathen hatten, vollständig genügte und vertrat also, durch seine Gesetze, die Beobachtungen selbst. Newton endlich erhob sich zu der Erklärung des Weltsystems, indem er die Kraft fand, von deren Wirkung die Kepler'schen Gesetze die nothwendige Folge sind, und welche den Erscheinungen entsprechen musste, indem diese Gesetze ihnen entsprachen. — Auf ähnliche Art, aber nicht mit ähnlichem Erfolge, sind auch die Versuche, von dem magnetischen Zustande der Erde Rechenschaft zu geben, fortgeschritten. Euler und Tobias Mayer haben die Annahme verfolgt, dass die an verschiedenen Punkten der Erde beobachteten Richtungen der magnetischen Kraft —

von ihrer Stärke wàr vor Humboldt nicht die Rede — sich als Wirkungen eines in der Erde befindlichen Magneten darstellen liessen. Allein diese Versuche hätten nicht gemacht werden können, wenn die verwickelten Züge der magnetischen Linien, zu ihrer Zeit schon so bekannt gewesen wären, wie ich sie oben an einem Beispiele erläutert habe: ihr Erfolg blieb weit hinter dem Erfolge zurück, welchen Copernicus, durch eine ähnliche einfache Annahme, im Falle der Planetenbewegung, erreicht hatte. Als Hansteen sich später das Verdienst erworben hatte, alle bekannt gewordenen Beobachtungen mit grossem Fleisse zu sammeln und als er dadurch das Hervortreten der magnetischen Kraft auf der Erde weit vollständiger kennen gelernt hatte, überzeugte er sich von der Unzulänglichkeit der früheren Annahme und veränderte sie daher in die Annahme zweier in der Erde befindlichen Magnete. Wirklich kann man die Lagen und die relative Stärke zweier Magnete so wählen, dass den Erscheinungen dadurch besser Genüge geleistet wird, als durch die Annahme eines Magneten. Aber der Erfolg mit ihrer Annahme blieb noch weit hinter dem Erfolge zurück, welchen Kepler, durch seine Verbesserung der Copernicanischen, herbeigeführt hatte: es wurde dadurch keineswegs ein einfacher Ausdruck erlangt, welcher die Beobachtungen selbst hätte vertreten und in gedrängtester Form hätte angeben können, was die Erklärung zu leisten hatte. — Der, der sich, ohne eine solche Hülfe zu besitzen, auf den Standpunkt stellte, von welchem aus Newton das

Weltsystem erklärt hatte, ist Carl Friedrich Gauss: er verlässt alle Annahmen, um nur die unzweideutigen Bedingungen zu verfolgen, welchen das Hervortreten der magnetischen Kraft auf der Oberfläche der Erde, durch ihr Gesetz selbst unterworfen ist.

Ich bin weit entfernt, hier den Versuch wagen zu wollen, der Gaussi'schen Erklärung Schritt vor Schritt zu folgen; aber es wird mir vielleicht gelingen, die Richtung, in welcher sie zum Ziele gelangt, einigermassen anzudeuten. — Vorausgesetzt wird nur das bekannte Gesetz der Wirkung der magnetischen Kraft; nämlich dass die beiden magnetischen Stoffe, jenachdem sie gleichnamig oder ungleichnamig sind, sich einander abstossen oder anziehen, und dass dieses mit einer Stärke geschieht, welche in ungleichen Entfernungen, im umgekehrten Verhältnisse ihrer Quadrate ist. Nicht aber darf als bekannt vorausgesetzt werden, wie die magnetischen Theilchen der Erde in ihrer Masse vertheilt sind; noch viel weniger also, dass ihre Vertheilung durchweg gleichförmig wäre. Vielmehr ist nicht zu bezweifeln, dass diese Vertheilung höchst unregelmässig ist, dass gewisse Theile der Erde stark magnetisirt sind, während andere, in ihrer Nähe, keine oder nur eine sehr geringe Magnetisirung besitzen. — Indem die Erklärung der sich auf der Erde zeigenden magnetischen Wirkungen, also nicht von der Kenntniss ihrer Magnetisirung ausgehen kann, kann sie nur in der, den Beobachtungen gemässen Specialisirung solcher allgemeinen Eigenschaften jedes magnetischen Körpers bestehen, welche, als

nothwendige Folgen des Gesetzes der Kraft selbst erkannt werden können. Um anschaulich zu machen, welcher Art die Hülfe ist, die das Gesetz der Kraft hier gewähren kann, erinnere ich an das Gesetz der Schwere und seine nothwendige Folge, nämlich, dass die Himmelskörper sich, auf eine bestimmte Art, in elliptischen Bahnen bewegen: insofern von dieser Bewegung die Rede ist, kennt man ihre eben erwähnte Eigenschaft vorweg und man benutzt die Beobachtungen z. B. eines neu erscheinenden Kometen, nicht zu ihrer Auffindung, sondern nur zur Herleitung dessen, was seine elliptische Bahn von der elliptischen Bahn jedes anderen Himmelskörpers unterscheidet. — Gelingt es, allgemeine Eigenschaften der Wirkung eines magnetischen Körpers, so wie sie sich an seiner Oberfläche zeigt, aufzufinden, so kann — ähnlich dem eben berührten Falle — durch Vergleichung mit den an der Oberfläche der Erde gemachten Beobachtungen, das erkannt werden, was die Erde, in magnetischer Beziehung, von jedem anderen magnetischen Körper unterscheidet. Dieser Uebergang von dem Allgemeinen zu dem Speciellen ist die Erklärung des Magnetismus der Erde.

Ich habe schon angeführt, dass die abstossende und anziehende Wirkung der magnetischen Kraft und die Wirkung der allgemeinen Anziehung, sich in verschiedenen Entfernungen, auf ganz gleiche Art verhalten; nämlich beide umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Beide treffen daher in allgemeinen Eigenschaften ihres Hervortretens an der Oberfläche

eines Körpers, von dessen einzelnen Theilen sie erzeugt werden, zusammen und bringen nur dadurch verschiedenartige Erscheinungen hervor, dass jedes magnetische Theilchen, auf jeden der beiden magnetischen Stoffe, zugleich Abstossung und Anziehung, die allgemeine Anziehung der Materie aber nur die letzere äussert. Die Gleichheit des Gesetzes beider Kräfte verursacht, dass die Aufsuchung der Wirkungen der allgemeinen Anziehung an der Oberfläche der Erde, welche Laplace, in seiner Mechanik des Himmels, auf eine Art verfolgt hat, welche allein ihn unsterblich machen würde, eine Reihe von Momenten darbietet, zwischen welchen und den von der Verfolgung des Magnetismus der Erde dargebotenen, eine durchgehende Analogie stattfindet.

Zwei dieser Momente muss ich hier hervorheben. — Alle Theilchen eines Körpers, deren jedes nach dem zu verfolgenden Gesetze wirkt, bringen, an jedem gegebenen Punkte, eine Gesammtwirkung hervor; eine Kraft, durch deren Kenntniss (sowohl ihrer Stärke als ihrer Richtung nach) also die Wirkung des ganzen Körpers bekannt wird. Laplace hat, statt die Stärke und die Richtung dieser Kraft zu Gegenständen der Untersuchung zu machen, eine Grösse dazu gewählt, welche für jeden Punkt wo jene gesucht werden, einen bestimmten Werth hat und die Eigenschaft besitzt, sowohl die Stärke, als auch die Richtung der Kraft des Körpers und damit auch die Kraft, welche er nach jeder beliebigen Richtung äussert, so zu enthalten, dass sie durch ein leichtes Rechnungsverfahren

daraus abgeleitet werden können. Hierdurch hat er den wesentlichen Vortheil erlangt, dass die Aeusserung der Kraft in jeder Richtung, nicht aus einer besonderen Untersuchung abgeleitet werden darf; dass eine Untersuchung Alles angiebt, was man von der Kraft des Körpers zu wissen wünschen kann, sobald sie dahin gebracht ist, die erwähnte Grösse für jeden Punkt des Raumes kennen zu lehren. Diese Grösse ist die Summe der Kräfte aller Theilchen des Körpers, jede durch die Entfernung des Theilchens von dem Punkte dividirt, an welchem man die Kraft selbst, oder eine ihrer Aeusserungen, kennen lernen will. Die Veränderung, welche ihr Werth erfährt, indem der Punkt, auf welchen sie sich bezieht, beliebig, jedoch sehr wenig, verrückt wird, giebt den Theil der ganzen Kraft zu erkennen, welcher sich in derselben Richtung äussert, in welcher die Verrückung des Punkts vor sich gegangen ist. — Indem diese Grösse alle Aeusserungen der Kräfte, welche von einem Körper ausgehen, in sich begreift, ist sie der eigentliche Gegenstand der Untersuchungen über dieselben; sie verdient durch eine eigene Benennung bezeichnet zu werden, wesshalb Gauss sie Potential genannt hat. *) Die Einführung dieses Potentials in die Betrachtung der Wirkung der Kräfte eines Körpers, ist das erste

*) In Greens Essay on the application of mathematical analysis etc. Nottingham 1828, findet sich die Benennung „potential function,“ welche, wenn die Abhandlung in deutscher Sprache geschrieben wäre, wohl als „Kräfte-Function“ erschienen sein würde.

der beiden Momente der Laplace'schen Untersuchung, welche ich anführen wollte.

Das zweite dieser Momente betrifft die Form des Ausdruckes des Potentials. Indem der Werth, welchen das Potential für einen bestimmten Punkt besitzt, sich mit dem Orte dieses Punkts ändert, muss der Ausdruck desselben die Grössen enthalten, welche zu der Bestimmung des Punkts nothwendig sind. Wenn dieser z. B. durch seine Entfernung vom Mittelpunkte der Erde und durch die Richtung, in welcher er, von diesem aus, erscheint — also durch geographische Breite und Länge — bestimmt wird, so muss der Ausdruck des Potentials diese drei Grössen enthalten und so beschaffen sein, dass der, jedem Punkte zugehörige Werth des Potentials daraus hervorgeht, wenn für die Entfernung, Breite und Länge die jenen bestimmenden Werthe genommen werden. Diesem Ausdrucke des Potentials hat nun Laplace eine Form zu geben gelehrt, welche ihn als die Summe einer Reihenfolge von einzelnen Theilen darstellt, deren Eigenschaft es ist, so wie sie fortschreiten kleiner zu werden; so dass einige der ersten dieser Theile die Werthe des Potentials näherungsweise richtig ergeben, welche Näherung immer weiter getrieben wird, so wie ein neuer Theil der schon angewandten früheren hinzugesetzt wird. Dieses gilt für alle Punkte, welche auf der Oberfläche der Erde und ausser ihr liegen, und zwar wird die fortschreitende Verkleinerung der Theile des Ausdrucks desto stärker, je entfernter von der Erde die Punkte sind. — Diese Eigenschaft des Ausdrucks

des Potentials ist eine allgemeine, d. h. sie findet immer statt, wie auch die Vertheilung der Kräfte im Inneren des Körpers beschaffen sein mag. Man weiss also, ohne irgend eine Voraussetzung über die Vertheilung der magnetischen Kraft in der Erde, dass ihr magnetisches Potential, in Beziehung auf jeden Punkt an ihrer Oberfläche, einen von seiner geographischen Breite und Länge abhängigen Ausdruck hat, welcher aus einer Reihenfolge immer kleiner werdender Theile besteht. Wie Gauss, durch diese wichtige Eigenschaft, zur Erklärung des Magnetismus der Erde gelangt ist, werde ich nun etwas näher andeuten können.

Von dem ersten der immer kleiner werdenden Theile des Ausdruckes des magnetischen Potentials der Erde kann allgemein gezeigt werden, dass er die Summe dreier Grössen ist, deren jede in einen, auf eine verschiedene Art von der geographischen Breite und Länge abhängigen Factor multiplicirt ist; der andere Factor den sie enthält, hängt aber von der Vertheilung des Magnetismus in der Erde ab und ist unbekannt, da diese Vertheilung unbekannt ist. Der erste Theil des Ausdruckes des Potentials enthält also drei unbekannte Grössen. Von ihrem zweiten Theile kann gezeigt werden, dass er deren 5 enthält; von jedem folgenden, dass er zwei mehr enthält als der vorhergehende. Diese unbekannten Grössen lässt die allgemeine — auf alle magnetischen Körper anwendbare — Theorie, völlig unbestimmt, indem die Werthe derselben eben so wohl von der Figur jedes Körpers, als von der in ihm stattfindenden Vertheilung des

Magnetismus abhängig sind. Ihre Bestimmung kann also nur aus Beobachtungen abgeleitet werden, welche geeignet sind, den magnetischen Zustand jedes Körpers zu verrathen. Für die Erde sind dieses die an ihrer Oberfläche gemachten Beobachtungen der magnetischen Declination, Inclination und Intensität. — Jeder, an einem Punkte der Erde, dessen geographische Breite und Länge gegeben sind, beobachtete Werth einer dieser Grössen, liefert, durch seine Vergleichung mit der ihr entsprechenden Anwendung des allgemeinen Ausdrucks des Potentials, eine Gleichung, welche zur Bestimmung der in diesem enthaltenen unbekannten Grössen beiträgt. Da solche Beobachtungen, entweder aller drei zur vollständigen Bestimmung der magnetischen Kraft an einem Punkte der Erde nothwendigen Grössen, oder zweier, oder einer derselben, an beliebig vielen Punkten gemacht werden können, so können immer noch mehr Gleichungen erlangt werden, als die Bestimmung der in jeder verlangten Zahl der Theile des Ausdruckes des Potentials enthaltenen unbekannten Grössen erfordert. — Dass die Grössen, zwischen welchen und ihren Ausdrücken man diese Vergleichungen vornimmt, die magnetische Declination, Inclination und Intensität selbst seien, ist übrigens nicht nothwendig; jede Verbindung derselben kann ebensowohl zum Gegenstande der Vergleichung gemacht werden; sie verdient selbst einen Vorzug, wenn entweder ihre Beobachtung, oder die Ableitung ihres Ausdruckes aus dem des Potentials einfacher ist. Gauss bemerkt z. B., dass die Intensität der in

horizontaler Richtung wirkenden Kraft vortheilhafter verglichen wird, als die der ganzen Kraft.

Ob eine kleinere oder grössere Zahl der sich fortschreitend verkleinernden Theile des Ausdrucks des Potentials bekannt werden muss, damit er eine hinreichende Annäherung gewähre, hängt offenbar von der Schnelligkeit ihrer Verkleinerung ab, welche erst der Erfolg kennen lehren kann, indem sie nur durch die unbekannte Art der Vertheilung des Magnetismus in der Erde bestimmt wird. Ob eine gewisse, willkürlich angenommene Zahl dieser Theile genügt, kann aber dadurch geprüft werden, dass die in ihr enthaltenen unbekannten Grössen durch die Beobachtungen bestimmt werden und dann untersucht wird, ob der dadurch erlangte Ausdruck allen vorhandenen Beobachtungen hinreichend nahe entspricht. Jenachdem sich dieses findet oder nicht findet, kann ein neuer Versuch auf die um eine kleinere oder grössere Zahl der Theile gegründet werden. Offenbar kann man, auf diese Art, den einfachsten, d. h. die kleinste Zahl von Theilen enthaltenden Ausdruck des Potentials finden, welcher das, was von dem Magnetismus der Erde beobachtet worden ist, noch hinreichend nahe darzustellen vermag. — Gauss hat schon durch die vier ersten Theile des Ausdrucks, welche resp. 3, 5, 7, 9, zusammen also 24 unbekannte Grössen enthalten, eine sehr befriedigende Uebereinstimmung zwischen den daraus berechneten und den aus den Beobachtungen allein abgeleiteten, durch ihre Unregelmässigkeit auffallenden Zügen der magnetischen Linien der

Erde erlangt. Sehr interessant ist der Ueberblick hierüber, auf zwei Karten der Declinations-Linien, welche Erman, die eine nach den Beobachtungen, die andere nach der Gaussischen Theorie, entworfen hat und welche die königl. Societät der Wissenschaften in London, in ihrer bekannt gemachten Instruction für die Südpol-Expedition des Capt. James Clark Ross, neben einander gestellt hat.

Wenn ich eben gesagt habe, dass die vier ersten Theile des Ausdruckes des Potentials, deren, den Beobachtungen gemässe Bestimmung die Gaussische Theorie enthält, eine hinreichende Uebereinstimmung mit den Beobachtungen gewähren, so bedarf dieser unbestimmte Ausdruck einer Erläuterung. Im Allgemeinen ist nur die Uebereinstimmung zwischen einer Theorie und den Beobachtungen hinreichend, welche nicht grössere Unterschiede zwischen beiden übrig lässt, als die, die den Unvollkommenheiten der Beobachtungen selbst zugeschrieben werden können. Die Uebereinstimmung, welche hinreichend ist, so lange die Beobachtungen weniger genau sind, hört daher auf es zu sein, wenn sie genauer werden. Die magnetischen Beobachtungen an vielen Punkten der Erde, welche der Theorie haben zum Grunde gelegt werden müssen, besitzen aber noch keinesweges einen Grad von Genauigkeit, dessen baldige Uebertreffung nicht wahrscheinlich wäre. Zwar haben die Beobachter häufig genügenden Apparat mit Kenntniss und Fleiss angewandt; aber sie haben nichts anderes dadurch erlangen können, als die Kenntniss der, während der

Zeit ihres Aufenthalts an einem Orte, sich daselbst zeigenden Aeusserung der magnetischen Kraft, und diese Zeit war gewöhnlich viel zu kurz, oder zwischen verschiedenen Gegenständen der Untersuchung zu stark vertheilt, als dass man hoffen könnte, die Angaben für die meisten Beobachtungsörter, von den vielfältigen, selten fehlenden, mehr oder weniger dauernden Aenderungen der Stärke und Richtung der magnetischen Kraft nicht beeinträchtigt zu sehen. Auch sind zwischen den Zeiten der Beobachtung an verschiedenen Oertern, oft mehrere Jahre verflossen, ohne dass man bis jetzt die Mittel besässe, die jährlichen Veränderungen gehörig in Rechnung zu bringen. Endlich hat ein, wegen seiner Vollständigkeit und seiner Ausdehnung über viele Punkte der Erde, vorzüglich bedeutender Theil der Beobachtungen, nur auf einem Schiffe gemacht werden können, dessen Schwankungen und anziehende Eisenmassen nicht ohne Einfluss auf die Genauigkeit ihrer Resultate haben bleiben können. *) — Alles dieses hat nothwendig hervorbringen müssen, dass eine Theorie für jetzt als hinreichend erkannt werden muss, welche den Beobachtungen näherungsweise, wenn auch nicht bis auf Unterschiede entspricht, von welchen unbedingt behauptet werden könnte, dass sie alle innerhalb der Grenzen der eigentlichen Beobachtungsfehler lägen.

*) Humboldt macht die Bemerkung, dass Beobachtungen auf tiefem Meere, vor Beobachtungen auf dem Lande den Vortheil voraushaben, dass sie sicher um die Dicke der Wasserschichte von jeder festen Störungsursache entfernt gemacht werden.

Gauss fordert, dass man den speciellen Theil seiner Theorie, nämlich die Zahlenwerthe der 24 unbekannten Grössen, welche in den vier ersten Theilen des Ausdruckes des Potentials enthalten sind, als einen ersten Versuch dieser Art betrachten solle. Er hält auch für wahrscheinlich, dass ein Zurückkommen darauf, noch die Hinzusetzung des fünften Theils als erforderlich zeigen wird; wodurch noch 11 unbekannte Grössen zu den 24 jetzt in der Theorie enthaltenen, hinzukommen werden. Er unterlässt übrigens nicht, 103 unmittelbare Beobachtungen der Declination, 102 der Inclination und 95 der Intensität, in den entferntesten Theilen der Erde gemacht, mit seiner speciellen Theorie zu vergleichen um dadurch zu zeigen, dass diese den magnetischen Erscheinungen auf der Erde, nicht nur im Ganzen genügt, sondern auch, vergleichungsweise mit dem was vor ihr zu leisten war, wenig zu wünschen übrig lässt.

Es versteht sich, dass eine Theorie, deren unbekannte Grössen dem zu einer bestimmten Zeit beobachteteten magnetischen Zustande der Erde gemäss, bestimmt worden sind, diesen Zustand nur so darstellen kann, wie er zu derselben Zeit war. Sollte sie auch von seinen Veränderungen Rechenschaft geben, so müssten ihre unbekannten Grössen nicht mehr beständige, sondern veränderliche sein; oder ihren Werthen für eine bestimmte Zeit müssten noch von der Zeit abhängige Veränderungen hinzugesetzt werden. Der Theil dieser Zusätze, welcher die beobachtete, Jahrhunderte lang in einem gleichen

Sinne fortschreitende und daher sehr gross werdende Veränderung erklären soll, ist noch in völliges Dunkel gehüllt, welches erhellt zu sehen, für jetzt noch keine Hoffnung vorhanden ist. Ein anderer Theil der nöthigen Zusätze, welcher die täglichen, auch einen Einfluss der Jahreszeiten verrathenden Aenderungen ausdrücken soll, wird wahrscheinlich weit früher gefunden werden als der vorige: seine sich nicht verbergende Periode deutet wenigstens unverkennbar auf seine Ursache, nämlich die Sonne, was jedoch nicht so verstanden werden muss, als würde eine unmittelbare und magnetische Wirkung derselben dadurch erwiesen; auch verheisst die Kürze dieser Periode die baldige Erlangung einer hinreichend vollständigen Kenntniss der Erscheinung selbst. Ein dritter Theil der Zusätze müsste die beobachteten, mehr oder weniger plötzlichen Störungen der Richtung und Stärke der magnetischen Kraft erklären; aber dass man je dahin gelangen sollte, ihr Eintreten unbestimmt lange voraus bestimmen zu können, ist eben so wenig zu erwarten, als der ähnliche Erfolg in Beziehung auf Gewitter und Stürme. Arago hat eine interessante, hierher gehörige Bemerkung gemacht; nämlich dass ein am Abend sichtbar werdendes Nordlicht, schon am Tage, durch ungewöhnliches Verhalten der magnetischen Störungen geahnet werden kann.

Aus dem eben Angeführten geht hervor, dass für jetzt noch von keiner anderen Erklärung des Magnetismus der Erde die Rede sein kann, als von einer, sich auf eine bestimmte Zeit beziehenden; denn die

Beobachtungen haben keinen Theil der Zusätze, wodurch sie auf eine unbestimmte Zeit ausgedehnt werden könnten, so weit entwickelt, dass er wirklich gemacht werden könnte. Indessen muss man die Beziehung der Erklärung auf eine bestimmte Zeit nicht so verstehen, dass sie den von Augenblick zu Augenblick sich verändernden Zustand des Magnetismus der Erde, für einen bestimmten dieser Augenblicke darstellte; sondern so, wie er in diesem Augenblicke erscheinen würde, falls die täglichen und die unerwarteten Aenderungen gar nicht vorhanden wären. Um den wahren, in einem bestimmten Zeitmomente stattfindenden Zustand des Magnetismus der Erde zu erkennen, müsste man von Beobachtungen ausgehen, welche genau in diesem Zeitmomente, an einer zu seiner Erfindung hinreichenden Zahl von Punkten der Erde, gemacht wären; um aber den mittleren, von den täglichen und den unerwarteten Aenderungen befreieten Zustand kennen zu lernen, muss man mittlere Resultate so vieler Beobachtungen, an jedem Punkte, zum Grunde legen, dass man hoffen darf, die Spuren dieser Störungen darin verschwinden zu sehen.

Die Anordnung von fortgesetzten, solche mittlere Resultate, für viele Punkte der Erde verheissenden Beobachtungen ist also erforderlich, wenn die Erklärung des Magnetismus der Erde eine Grundlage erhalten soll, deren Sicherheit der Sicherheit der Beobachtungen selbst angemessen ist. Mit grossem Erfolge hat Alexander von Humboldt die Kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Petersburg,

(November 1829) und den Herzog von Sussex, als Präsidenten der Königl. Societät der Wissenschaften in London (April 1836) aufgefordert, ihre Einflüsse zur Gründung von bleibenden magnetischen Observatorien, in den weiten Umfängen der, beiden Kronen huldigenden Reiche, zu verwenden. Denn die erstere dieser Aufforderungen hat eine, unter der Leitung von Kuppfer vortrefflich gedeihende, regelmässige Beobachtungsreihe zur Folge gehabt, welche sich von Helsingfors und von Tiflis, bis nach Sitcha und nach Peking erstreckt; die andere aber hat nicht allein die Expedition des Capitains Ross nach den Südpolarmeeren und die von ihr ausgehende Errichtung fester magnetischer Observatorien an den entlegensten Punkten der Erde, sondern auch die Ergreifung der letzteren Massregel an Punkten in Canada, Indien, Vandiemensland u. m. veranlasst. — An vielen Orten von Europa hat das von Göttingen aus, über den Magnetismus verbreitete Licht, ähnliche Massregeln hervorgerufen, auf welche ich jedoch noch einmal zurückkommen werde.

Wenn diese Massregeln die beabsichtigten Erfolge geäussert haben werden, wird dadurch die Hoffnung auf eine Verbesserung der jetzigen Bestimmung der unbekannten Grössen der Theorie des Erdmagnetismus vermehrt werden. Allein man wird nie so weit gelangen, dass man die Aeusserung der magnetischen Kraft an jedem Punkte der Erde, eben so genau durch die Theorie finden könnte, als man sie beobachten kann. Den Grund hiervon werde ich zu erklären suchen. Jeder magnetische Theil der Erde, wie gross

oder klein seine Kraft auch sein mag, hat einen Antheil an den Werthen der unbekannten Grössen der Theorie; offenbar aber hat ein, vergleichungsweise mit dem Ganzen, unbedeutender Theil, z. B. ein Magnet von einem Centner Gewicht, einen so unbedeutenden Theil daran, dass sein Vorhandensein oder Nichtvorhandensein keinen merklichen Unterschied dieser Werthe erzeugen kann. Dennoch aber wird dieser unbedeutende Theil des Ganzen, so unmerklich seine magnetische Wirkung schon in der Entfernung von 100 Schritten sein wird, in noch kleinerer eine grosse zeigen, sogar eine so grosse, dass sie die Wirkung aller übrigen magnetischen Theile der Erde übertrifft; oder, mit anderen Worten, derselbe magnetische Theil der Erde, welcher die Werthe der unbekannten Grössen der Theorie nur unmerklich ändern kann, wird die Aeusserung der magnetischen Kraft der Erde, an Punkten in seiner Nähe, sehr erheblich ändern. Beides scheint im Widerspruche mit einander zu sein, indem die Theorie aus der Gesammtwirkung aller magnetischen Theile der Erde folgt, und dennoch die Wirkung einer derselben nicht wiederzugeben scheint; allein die Aufklärung ist nicht schwierig: der unbedeutende Körper hat allerdings unbedeutende Einflüsse auf die einzelnen unbekannten Grössen der Theorie, allein ihre Anzahl ist unbegrenzt, und der sie alle enthaltende Ausdruck ist so beschaffen, dass er sie allein in der Nähe ihrer Ursache zusammenhäuft, während er sie, in jeder grösseren Entfernung, einander entgegenwirken lässt, so dass sie sich gegenseitig bis zum Unmerk-

lichwerden vernichten. Wenn jener Ausdruck aber schon nach wenigen seiner ersten Glieder abgebrochen wird, so werden dadurch unzählige der unbedeutenden Einflüsse weggelassen, wesshalb dann von ihrer Zusammenhäufung zu einer beträchtlichen Grösse nicht mehr die Rede sein kann. — Ich glaube, dass diese Bemerkung verständlich machen wird, dass eine, nur wenige Anfangsglieder des Ausdruckes des Potentials berücksichtigende Theorie des Erdmagnetismus, nur einen gewissen Normalzustand desselben angeben kann, seine kleineren Störungen aber verschweigen muss *). Ferner, dass die Anzahl der unbekannten Grössen, wovon die Kenntniss des Erdmagnetismus abhängt, oder die Anzahl seiner Elemente, keinesweges eine bestimmte ist und ihre Beschränkung auf die 24 von Gauss jetzt ausgemittelten, oder die 35, welche bei der Berücksichtigung auch des 5ten Theils des Ausdruckes des Potentials auszumitteln gewesen sein würden, u. s. w. nicht zu einer erschöpfenden Kenntniss des Erdmagnetismus führen kann. Endlich, dass das Interesse der Genauigkeit der Beobachtungen, insofern es sich um ihre Benutzung als Grundlage der Kenntniss des allgemeinen magnetischen Zustandes der Erde handelt, durch seine, von der Theorie verschwiegenen örtlichen Störungen geschwächt wird; dass also die Genauigkeit der Beobachtungen ihre

*) Man kann hieraus leicht weiter schliessen, dass wenige Anfangstheile des Ausdruckes des Potentials gar keine Näherung gewähren würden, wenn der Magnetismus der Erde nur aus häufigen, unregelmässig auf ihrer Oberfläche zerstreuten magnetischen Theilen hervorgingen.



Anstellung an sehr vielen Punkten der Erde nicht überflüssig machen kann, so dass z. B. das mittlere, von den örtlichen Störungen wahrscheinlich schon ziemlich freie Resultat, von 10, in dem Umkreise weniger Meilen gemachten einzelnen Beobachtungen, für die Erforschung des allgemeinen magnetischen Zustandes der Erde, grösseres Gewicht hat, als die zehnmalige, an dem Mittelpunkte dieses Umkreises vorgenommene Wiederholung einer Beobachtung.

Ich habe schon angeführt, dass die Gaussische Theorie des Magnetismus der Erde, durch das Zeugniss der Beobachtungen so weit gerechtfertigt wird, als der jetzige Zustand der Sache nur irgend erwarten lassen kann. Ihre fernere Verfeinerung wird eine bildliche Darstellung dieser Theorie und der aus ihr hervorgehenden verschiedenartigen Aeusserungen der magnetischen Kraft auf der Erde, nur noch in Einzelnheiten ändern können. Wir verdanken Wilhelm Weber, „der keine Aufopferung scheuet, wo es gilt, der Wissenschaft einen Dienst zu leisten,“ *) eine solche Darstellung auf 18 Blättern, wobei ihn die Herren Dr. Goldschmidt, Draschussof und Heine thätig unterstützt haben. Diese 18 Blätter versinnlichen die Werthe des magnetischen Potentials an allen Punkten der Erdoberfläche; die von Süden nach Norden, die von Osten nach Westen, die von Oben nach Unten wirkenden magnetischen Kräfte; die horizontalen Intensitäten, die Declinationen, die Inclinationen

*) Werke von Gauss.

und die ganzen Intensitäten der magnetischen Kraft. Auch zeigen sie diejenige Vertheilung der magnetischen Stoffe an der Oberfläche der Erde, welche auf Punkte dieser Oberfläche und auf äussere, genau so wirken würde, wie die unbekannte Vertheilung des Magnetismus in der Erde wirklich wirkt. Aber die Erleichterung der vollständigen Uebersicht über alle Aeusserungen der magnetischen Kraft an der Oberfläche der Erde, ist es nicht allein, was dem Verfasser dieser Karten allgemeinen Dank sichert; sie bereiten auch eine fernere Verbesserung der Theorie vor, indem Abweichungen der Beobachtungen von dem Dargestellten, auf ihnen verzeichnet, zur fortschreitenden Berichtigung des Zuges der Linien und dadurch wieder zu einer Verbesserung der Theorie führen werden. Dieser Anwendung der Karten wegen, hat Weber den grössten Fleiss auf die Richtigkeit ihrer Zeichnung gewandt.

Die Untersuchungen von Gauss haben noch zu einem Resultate über den Magnetismus der Erde geführt, welches zwar nicht die sich uns zeigenden Erscheinungen berührt, jedoch zu merkwürdig ist, um hier unerwähnt bleiben zu dürfen. Ich habe oben anzudeuten versucht, wie es möglich ist, das Verhältniss der magnetischen Kraft einer Nadel zu der horizontalen magnetischen Kraft der Erde, an einem beliebigen Punkte, kennen zu lernen; auch habe ich gesagt, dass Gauss dieses Verhältniss in Göttingen bestimmt hat. Das Verhältniss der sich an diesem Orte zeigenden horizontalen Kraft, zu der ganzen magnetischen Kraft

der Erde, kann dagegen durch die Bestimmungen der Gaussischen Theorie gefunden werden. Die Verbindung beider Verhältnisse führt zu der Kenntniss des Verhältnisses der magnetischen Kraft der Nadel zu der ganzen magnetischen Kraft der Erde. Ungefähr auf diese Art hat sich gefunden, dass 8464 Trillionen Magnetnadeln von einem Pfunde Gewicht, deren Axen sämmtlich gleiche Richtung besitzen, erforderlich wären, die magnetische Wirkung der Erde im äusseren Raume zu ersetzen; vertheilt man sie gleichförmig durch den ganzen Erdkörper, so erhält jeder Würfel von anderthalb Fuss Seite eine davon. Indem aber die Materie der Erde an ihrer Oberfläche, meistens ohne merkliche magnetische Wirkung, gewiss im Ganzen weit weniger magnetisirt ist, als sie sein würde, wenn jeder Würfel von der angegebenen Grösse so viel Magnetismus enthielte als die Magnetnadel von einem Pfunde; so kann man sich der Annahme nicht entziehen, dass die Magnetisirung der Erde im Innern weit grösser sein muss als an der Oberfläche. Dieses widerstreitet der oft geäusserten Meinung, dass der Magnetismus der Erde sich nur an ihrer Oberfläche befände.

Das was ich von dem Magnetismus der Erde angeführt habe, muss hinreichen, zu zeigen, wie die letzten Jahre ihn zu einer festbegründeten Wissenschaft erhoben haben. Aber Gauss hat nicht allein die Theorie dieser, vorher räthselhaften Erscheinung und ihre erste Anwendung gegeben, sondern er hat auch vielfältige Mittel in Bewegung gesetzt, wodurch

die experimentelle Kenntniss der Erscheinung selbst beträchtlich gefördert worden ist und werden wird. Ich darf meinen Bericht über diesen Gegenstand nicht schliessen, ohne der Massregeln erwähnt zu haben, welche gegenwärtig alle Blicke auf Göttingen lenken. Als die Bemühungen des oftgenannten grossen Geometers anfingen, sich dem Magnetismus zuzuwenden, hatte er das Glück, in Wilhelm Weber einen Theilnehmer seiner Arbeiten zu finden, dessen Scharfsinn früher schon in verschiedenen Gebieten der Naturlehre, unvergängliche Spuren zurückgelassen hatte. Die Verbindung Beider besteht bis zu diesem Augenblicke: Webers Eifer für den Magnetismus hat ihn bis jetzt in Göttingen erhalten, obgleich seine dortige öffentliche Stellung, in Folge von Ereignissen aufgehört hat, deren — unseren Nachkommen schwer zu erläuternde! — Wirkung gewesen ist, das unbedeutende Gewicht des Politikers Weber, schwerer gemacht zu haben, als das bedeutende des Naturforschers Weber. Beide gemeinschaftlich machen, von 1836 an, jährlich die Resultate ihrer eigenen Forschungen und der Beobachtungen eines von ihnen gestifteten Vereins bekannt. Wie allgemein, über alle Seiten der Kenntniss des Magnetismus ausgebreitet, die Bemühungen von Gauss und Weber sind, lässt schon ihre Verbindung erwarten, und vier vorhandene Bände ihres Werkes beweisen es. Die Erfindung einiger neuen Methoden, welche die Vervollkommnung oder Erleichterung der Beobachtungen zum Ziele haben, darf ich nicht ohne alle Andeutung übergehen. —

Der oben schon erwähnten Methode, die magnetische Intensität nach absolutem Masse zu messen, hat Weber eine Aenderung hinzugesetzt, welche zu der Erfindung eines nicht beträchtlich weniger sicheren Resultats führt, nur einen kleinen, fast ohne alle Vorbereitung anwendbaren Apparat voraussetzt und sich aus diesem Grunde, verbunden mit der Leichtigkeit ihrer Ausführung, solchen Beobachtern empfiehlt, welche das Resultat suchen, ohne mehr als eine leicht zu erlangende Ausrüstung zu besitzen. Für das Bedürfniss der Reisenden sorgt Weber durch einen Apparat, welcher alle Arten magnetischer Beobachtungen zu gewähren bestimmt ist, und dessen sinnreiche Zusammensetzung dennoch seine leichte Uebertragung von einem Orte nach einem andern nicht beinträchtigt. — Sehr merkwürdig ist aber eine Methode Webers, welche die Messung der magnetischen Inclination, auf Beobachtungen an einer horizontalen Nadel zurückführt. Dieses ist möglich geworden, durch eine höchst scharfsinnige Benutzung einer der merkwürdigsten Entdeckungen dieses Jahrhunderts, der Entdeckung nämlich, dass Magnetismus durch einen galvanischen Strom, und dieser wieder durch die Bewegung eines Magneten hervorgerufen werden kann. Die Idee, welche Weber verfolgt hat, forderte die Erfindung einer Einrichtung, welche es möglich macht, zuerst durch den lothrecht wirkenden Theil der magnetischen Kraft der Erde allein, mit gänzlicher Ausschliessung des wagerecht wirkenden, einen galvanischen Strom hervorzurufen und diesen zur Ablenkung einer Magnet-

nadel aus dem magnetischen Meridiane zu verwenden; dann aber den zu demselben Zwecke zu verwendenden galvanischen Strom, durch den wagerecht wirkenden Theil der magnetischen Kraft der Erde allein hervorzurufen. Diese Erfindung ist ihm gelungen, und eben so ist es gelungen, von den Ablenkungen der Magnetnadel in beiden Fällen, auf die Kräfte, welche sie mittelbar erzeugt haben, nämlich auf die lothrecht und die wagerecht wirkenden magnetischen Kräfte der Erde, zurück zu schliessen, so dass das Verhältniss der einen zu der andern und damit die Neigung der ganzen magnetischen Kraft bekannt wird. Von der Ausführung dieser Methode ist bis jetzt nur ein vorläufiger Versuch, mit einem, ohne Ansprüche auf ein zuverlässiges Resultat zusammengesetzten Apparate gemacht, bekannt geworden — aber man braucht den Erfolg nicht abzuwarten, um der Feinheit der Erfindung seinen Tribut zu bringen! — Allein die Verbindung zwischen Magnetismus und Galvanismus, worauf diese Methode beruhet, haben sowohl Gauss, als Weber in weit grösserer Ausdehnung verfolgt, mit einer Vorliebe, welche den durch sie gewährten Aussichten auf wichtige Aufschlüsse angemessen ist. Von der grossen Ausdehnung, welche die Forschungen Beider in diesem Gebiete schon erlangt haben, ist bis jetzt nur Einzelnes bekannt geworden, welches, wie das davon Angeführte, durch seine Berührungen hervortrat. Ohne alle Erwähnung glaubte ich nicht daran vorübergehen zu dürfen, aber diese muss für jetzt genügen. — Im Fortgange seiner Beschäftigungen

mit dem Magnetismus, hat Gauss ein neues Princip der Messung aller Arten von Kräften — nicht bloss magnetischen — gefunden, welches in der Folge, in allen Untersuchungen, deren Zweck diese Messung ist, eine wesentliche Rolle spielen wird. Es ist dieses die Aufhängung eines Körpers an zwei, einander parallelen, sehr langen Fäden, wovon die offenbare Folge ist, dass er nur in einer bestimmten Richtung zur Ruhe gelangen kann, nämlich, wenn keine drehende Kraft auf ihn wirkt, in der Richtung, in welcher die beiden Fäden und sein Schwerpunkt sich in einer lothrechten Ebene befinden. Wird er, durch irgend eine Kraft, aus dieser Richtung gedrehet, nimmt er also eine andere an, so wird die Erhöhung seines Schwerpunkts, welche durch die Drehung erzeugt und durch ihre Grösse bekannt wird, das Mass der sie erzeugenden Kraft: diese wird also unmittelbar mit der Schwere verglichen. Coulomb hat bekanntlich denselben Zweck der Messung von Kräften durch die Drehwage erreicht, durch einen, an einem, der Drehung einen gewissen Widerstand entgegensetzenden Faden aufgehängten Körper. Der Gaussische Bifilarapparat ist eine Verbesserung dieser Drehwage, welche der individuellen Kraft des Fadens, der Drehung zu widerstehen, die allgemeine Schwere an die Stelle setzt. Eine Anwendung dieses Apparates ist es auch, durch welche die früher erwähnte, unmittelbare Beobachtung der Veränderungen der horizontalen Intensität der magnetischen Kraft der Erde erlangt worden ist. Von der Allgemeinheit des Eifers, an den

Beobachtungen Theil zu nehmen, welche die Erlangung einer genaueren Kenntniss der Art des Hervortretens der unerwarteten Störungen der magnetischen Kraft zum Zwecke haben, kann ein Verzeichniss der Oerter, von welchen dergleichen Beobachtungen bekannt geworden sind, eine Vorstellung geben: Alten, Altona, Berlin, Breda, Breslau, Catania, Copenhagen, Freiberg, Göttingen, Haag, Hannover, Heidelberg, Kierisvara, Kremsmünster, Leipzig, London, Marburg, Mayland, Messina, München, Prag, Seeberg, Stockholm, Upsala. — Vereine von der Art des Göttingers sind unschätzbar, weil sie die Kraft besitzen, erregtem Eifer für einen wissenschaftlichen Gegenstand, eine nützliche Richtung anzuweisen!

Der Eifer für die Erforschung des Magnetismus der Erde, ist, mit der Annäherung an die Zeit, wo diese eine Wissenschaft werden sollte, fortschreitend gewachsen. Aehnliches zeigt die Geschichte der Wissenschaften immer: man muss daraus schliessen, dass der Eifer Fortschritte zur nothwendigen Folge hat, und dass diese Fortschritte wieder den Eifer vermehren. In diesem Jahrhundert gewinnt der Eifer für den Magnetismus der Erde neues Leben; Alexander von Humboldt erregt ihn und steigert ihn durch eigene Erfolge. — Bald wird er kräftig genug, Unternehmungen hervorzubringen, welche die Vervollständigung der Beobachtung des magnetischen Zustandes der entlegentsten Punkte der Erde, zum einzigen, oder hauptsächlichen Zwecke haben. Der Werth, den die magnetischen Bestimmungen erlangen, welche

Humboldt von seinen Reisen mitgebracht hat, bewegt Hansteen und Erman, ähnliche in Sibirien und Kamtschatka einzusammeln; den letzeren, früher fehlende Mittel zu suchen, wodurch vollständige magnetische Bestimmungen an allen Punkten der durchsegelten Meere möglich werden. — Der magnetische Apparat fängt an, ein hauptsächlicher Theil der Ausrüstung aller Reisenden zu werden. — In wenigen Jahren liefern sie eine hinreichende Grundlage für die Gaussische Theorie. — Es gelingt Humboldt, die Regierungen von England, Frankreich, Russland .... für den Magnetismus der Erde zu interessiren und grosse, kostbare Expeditionen sind die Folge davon. — Diese rüsten sich mit den Gaussischen Apparaten aus und folgen den ihnen von Humboldt vorgezeichneten Wegen. — Alles dieses strebt einem Ziele zu, welches nicht mehr in unbestimmter Entfernung, sondern schon im Gesichtskreise liegt.

So grosse Leistungen eines noch nicht halb vollendeten Jahrhunderts wollte ich meinen Zuhörern nicht länger verbergen. Nur andeutende Striche, welche das Leben und die Farbe der Bilder nicht verrathen, habe ich versuchen können. Ich habe gefühlt, dass das Ausmalen jedes einzelnen der angedeuteten Gegenstände grössere Befriedigung gewährt haben würde; aber ich habe ihre Andeutung dennoch vorgezogen, weil ich nur dadurch den Zusammenhang des umfangsreichen Ganzen anschaulich zu machen die Möglichkeit erlangen konnte.

Ueber Wahrscheinlichkeits-Rechnung.

Wenn ich wage, die verehrte Physicalische Gesellschaft von der Wahrscheinlichkeits-Rechnung zu unterhalten, so muss ich diesem Gegenstande wohl ein solches eigenthümliches Interesse zutrauen, dass ich ihn als eine Ausnahme von der, leicht aus der Erfahrung abzuleitenden Regel: dass nämlich alle Rechnung und selbst ihr Resultat, nicht zum mündlichen Vortrage taugt — annehme. Dieses Zutrauen zu meinem Gegenstande habe ich wirklich, denn wenn irgend eine Art von mathematischen Betrachtungen in häufiger Berührung mit dem ganzen Umfange unsers Wissens, mit den Vorfällen des täglichen Lebens steht, so ist es die mathematische Untersuchung der Wahrscheinlichkeit. Freilich ist man nicht daran gewöhnt, manche Dinge von dieser Seite zu betrachten, allein es wird sich leicht nachweisen lassen, dass dieselben Gesetze, nach welchen das Würfelspiel sich richtet, eine sehr ausgedehnte Rolle in der Welt spielen, und dass man oft darauf stösst, wo man sie am wenigsten erwartet.

Unser Wissen zerfällt in zwei Theile: es beruht auf Gewissheit, oder auf Wahrscheinlichkeit. Gewiss

25 *

ist nur, was die unmittelbare Beobachtung gegeben hat, oder was daraus, durch eine Reihe richtiger, meistens mathematischer Schlüsse, abgeleitet worden ist; wahrscheinlich dagegen ist das was uns durch Zeugnisse, oder durch Folgerungen aus Beobachtungen, deren Richtigkeit und Unzweideutigkeit nicht streng dargethan werden können, bekannt geworden ist. Der erste Theil ist gross — er enthält das ganze Reich der mathematischen Wahrheiten, die zahllose Menge von Thatsachen, welche die Natur uns darbietet, die Ereignisse, welche unter unseren Augen vorgehen; aber auch der andere Theil ist gross, denn er enthält alle bevorstehende Ereignisse, wovon wir die Gesetze nicht ergründen können, er enthält die Thatsachen, welche die Geschichte uns überliefert: er umfasst das Fallen des Würfels und das Schicksal der Völker.

Vieles was nur wahrscheinlich ist, heisst im gemeinen Leben gewiss, immer dann, wenn die Wahrscheinlichkeit sehr gross ist. Dass z. B. Julius Caesar gelebt hat, heisst gewiss, denn es wird uns durch viele und glaubwürdige Zeugnisse, und durch ein Eingreifen in andere Ereignisse verbürgt; dass die sieben Römischen Könige gelebt haben, heisst zweifelhaft, oder gar unwahrscheinlich, denn die Zeugnisse dafür erscheinen minder glaubwürdig und werden durch andere Dinge noch geschwächt. Dennoch ist unsere Kunde von Caesar gleichartig mit der von den sieben Königen; nur in den Graden ihrer Stärke sind beide verschieden; während die eine so schwach ist, dass wir nicht glauben, darauf fussen zu dürfen,

ist die andere so stark, dass jeder Zweifel uns unvernünftig erscheint: genau genommen ist aber das eine Ereigniss nur sehr viel wahrscheinlicher als das andere; der Zweifel ist nicht unvernünftiger, als die Hoffnung aus vielen Millionen schwarzen Kugeln, eine einzelne weisse, aufs gerathewohl herauszufinden: er ist also nicht eigentlich unvernünftig, sondern nur sehr schwach. Solche geringe Grade des Zweifels werden im gemeinen Leben ganz übersehen; stärkere aber treten mehr hervor. — Wo ist nun die Grenze, wo ist das Mass der Wahrscheinlichkeit für zwei Ereignisse, welche beide gewiss heissen? — könnte man dieses Mass finden, so würde jedem Ereignisse sein rechter Platz angewiesen werden können; man würde in Zahlen nachweisen können, ob diese oder jene Erklärung wahrscheinlicher ist. In der Geschichte aber, so wie in allen Dingen, welche nicht auf Grössenverhältnisse zurückgeführt werden können, mögte ein Mass der Wahrscheinlichkeiten schwer zu entdecken sein; man wird es nie dahin bringen, den historischen Thatsachen, ausser der Jahreszahl, noch eine andere Zahl beischreiben zu können, welche ihre Wahrscheinlichkeit bezeichnet.

Dagegen sind aber sehr viele Dinge vorhanden, deren Wahrscheinlichkeit man abmessen kann, und von den Mitteln, welche dazu benutzt werden können, werde ich einiges sagen.

Die ganze Theorie der Wahrscheinlichkeiten beruht auf dem was man Zufall zu nennen pflegt. Ob eine Münze, welche ich aufwerfe, auf den Kopf oder

das Wappen niederfallen wird, das nehmen wir für eine Wirkung des Zufalls; bei einigem Nachdenken aber bemerkt man leicht, dass die Art des Niederfallens die Wirkung einer Ursache sein muss, dass die Münze sich eben so wenig willkürlich bewegen kann als der Jupiter, dass in dem Aufwerfen selbst schon das Niederfallen bestimmt ist; — allein man bemerkt auch, dass die geringste Aenderung im Aufwerfen hinreicht, eine andere Seite nach Oben zu bringen, dass eine neue sehr geringe Aenderung wieder die erste Seite nach Oben bringt u. s. w. — Diese Aenderungen sind so gering, dass unsere Sinne nicht hinreichen, sie einzeln, und selbst nicht einmal in sehr zahlreichen Anhäufungen, wahrzunehmen, so dass wir daher auch nicht im Stande sind, den einen, oder den anderen Effect willkürlich hervorzubringen oder vorauszubestimmen. Für uns ist daher das Niederfallen der Münze dem Zufalle unterworfen und durch dieses Beispiel ist der Sinn gegeben, welchen man mit dem Worte verbindet. Man wird immer von Zufall reden, wenn man nicht im Stande ist zu übersehen, wie eine Wirkung mit einer vorangegangenen Ursache verbunden ist; wenn man diese nicht kennt; wenn der Ursachen so viele sind, dass es uns unmöglich ist, sie zu trennen und einzeln bis zur Wirkung zu verfolgen. Wer erläuternde Beispiele für den Begriff des Zufalls haben will, darf nicht weit suchen; jedes Ereigniss, zu welchem wir nicht durch Rechnung oder andere Schlüsse gelangen können, heisst Zufall: es verliert diesen Namen, sobald wir seine

Verbindung mit den Ursachen nachweisen können. Ein Gewitter, welches die Sonne verdunkelt, heisst Zufall: eine, durch den Mond verursachte Sonnenfinsterniss heisst nicht Zufall: von dem einen Ereignisse wissen wir nicht die Ursachen, von dem anderen sind sie uns sehr bekannt; — es hat aber eine Zeit gegeben, wo eine Finsterniss auch Zufall hiess — viele Dinge, welche jetzt Zufall heissen, werden in der Folge diesen Namen verlieren und es ist überhaupt klar, dass der ganze Begriff relativ ist. Als Newton anfing Licht in der Welt zu verbreiten, wurde Vieles aus dem dunkelen Reiche des Zufalls hervorgezogen; ein anderer Newton würde die Ursachen anderer Dinge enthüllen, und es ist ein Verstand denkbar, für welchen wenig Zufälliges übrig bleiben würde. Dass dieses ein menschlicher Verstand ist, behaupte ich nicht; allein wenn es auch dem Menschen je gelingen könnte, alles Dunkel aufzuhellen, so würde dennoch, ehe dieses geschehen ist, die nähere Betrachtung des Zufalls, uns sehr interessant sein müssen; denn nur durch diese können wir in den Stand gesetzt werden, die Zuversicht zu beurtheilen, mit welcher wir auf Erscheinungen rechnen können, deren Ursachen uns fremd sind, die aber nichtsdestoweniger, der Erfahrung zufolge, gewissen Gesetzen folgen.

Diejenigen Dinge, welche wir, als dem Zufalle unterworfen annehmen, beurtheilen wir unbekümmert um die, sie erzeugenden Ursachen; für diese Art der Beurtheilung geht also die Natur der Dinge ganz

aus der Betrachtung heraus, und es wird gleichgültig, von welcher Natur sie sind. Man hat daher Mittel gesucht, die sogenannten Zufälle im Allgemeinen zu beurtheilen, in der Absicht, auf jeden vorkommenden Fall eine Anwendung davon zu machen: man hat diese Mittel in der Vergleichung mit dem Würfelspiele gefunden und Jacob Bernoulli war der erste, welcher in einem im Jahre 1713 herausgegebenen, „Ars conjectandi" betitelten Werke, diese Bahn brach und dadurch vielfältige spätere Untersuchungen der Mathematiker veranlasste, welche durch ein, vor einigen Jahren erschienenes grosses Werk von Laplace, nun in ihrem ganzen Umfange vor Augen liegen.

Man kann sich einen Würfel mit einer beliebigen Menge Seiten denken, etwa ein Prisma von 3, 4, 5, 6 oder mehreren Seiten: wäre eine von diesen Seiten schwarz, die anderen weiss, so würde es offenbar desto weniger wahrscheinlich sein, die schwarze Seite oben zu werfen, je grösser die Anzahl der Seiten ist. Für zwei Seiten, eine schwarze und eine weisse, ist offenbar die Wahrscheinlichkeit beider gleich: man wird mit demselben Rechte auf die schwarze als auf die weisse rechnen können, und der würde, vorausgesetzt, dass lange gespielt wird, gewiss verlieren, der jedesmal, wenn die schwarze Seite oben fällt, zwei Thaler gäbe, und wenn die weisse oben fällt, nur einen Thaler erhielte. In diesem Falle, nämlich eines Würfels mit zwei Seiten, heisst daher die Wahrscheinlichkeit beider Fälle mit Recht gleich. Ein Würfel mit 3 oder mehreren Seiten wird dagegen

öfter eine der weissen, als die einzige schwarze Seite oben bringen, und man urtheilt mit Recht, dass es wahrscheinlicher ist eine weisse Seite oben zu werfen, als die schwarze. Für zwei Seiten ist die Wahrscheinlichkeit, für weiss sowohl als für schwarz = $\frac{1}{2}$; für drei Seiten ist die Wahrscheinlichkeit für weiss = $\frac{2}{3}$, für schwarz = $\frac{1}{3}$; für 4 Seiten hat weiss die Wahrscheinlichkeit $\frac{3}{4}$ und schwarz $\frac{1}{4}$ u. s. w. — wären auf einem Würfel von 12 Seiten 7 weisse und 5 schwarze, so würde die Wahrscheinlichkeit für weiss $\frac{7}{12}$ und für schwarz $\frac{5}{12}$ sein; wenn ich mit einem solchen Würfel werfe, so muss ich, wenn ich für jeden weissen Wurf 5 Thaler erhalten soll, für jeden schwarzen 7 Thaler zahlen; zahle ich weniger, so werde ich wahrscheinlich gewinnen, zahle ich mehr, so werde ich wahrscheinlich verlieren; denn es ist kein Grund vorhanden, oder vielmehr wir nehmen dieses bei der Wahrscheinlichkeits-Rechnung an, warum die eine Seite eher oben fallen soll als die andere; die grössere Anzahl der weissen Seiten wird also zur Folge haben, dass weiss häufiger oben fällt. — Hieraus geht also hervor, welches Mass man an die Wahrscheinlichkeiten legt: die Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{2}$ ist die, welche genau auf der Wage steht, und welche eben sowohl das eine Ereigniss als das andere zur Folge haben kann; von Dingen, welche diese Wahrscheinlichkeit haben, kann man weder behaupten, dass sie wahrscheinlich sind, noch dass sie unwahrscheinlich sind. Aber Dinge, deren Wahrscheinlichkeit auch nur ein Weniges unter $\frac{1}{2}$ ist, sind unwahrschein-

überlegt, dass die meisten Massregeln, welche wir ergreifen, nicht durch einen gewissen Erfolg, sondern durch grössere oder geringere Wahrscheinlichkeit motivirt werden. — Um auch dieses durch ein Beispiel zu erläutern, wollen wir uns in die Lage eines Schiffers versetzen, welcher aus Erfahrung weiss, dass ein Sturm ihm einen gewissen Schaden zufügt, z. B. 100 Thaler; läuft er heute nicht aus, so muss er seinen Abladern 50 ℛ für die Zögerung zahlen; — nun ist das Barometer um ¼ Zoll gefallen, soll er die 50 ℛ zahlen, oder sich der Gefahr des Sturms aussetzen? — ich glaube, dass hier die Stimmen getheilt sein werden; der eine wird die zweifelhafte Gefahr dem sicheren Verluste vorziehen, der andere wird lieber 50 ℛ zahlen, um nicht im ungünstigen Falle 100 ℛ zu verlieren — Recht hätte aber der letztere, denn die Wahrscheinlichkeit des Sturms ist $\frac{6}{10}$, also unter 10 Malen wo er, bei ähnlichen Verhältnissen, ausläuft, wird er 6 Stürme zu erwarten haben, welche ihm einen Verlust von 600 ℛ zuziehen, im Durchschnitte also jedes Mal 60 ℛ; es versteht sich, dass er wohl thun würde, diesen Verlust jedesmal durch 50 ℛ abzukaufen. — Es werden aber sehr viele Massregeln ergriffen, welche auf ähnlichen Betrachtungen beruhen sollten, gewöhnlich aber nach Schätzungen beurtheilt werden, welche mehr oder weniger unsicher sind, theils weil man die wahren Gründe des Urtheils nicht deutlich genug entwickelt, theils weil man sich nicht Mühe gegeben hat, die Thatsachen, welche die Erfahrung hätte geben können, nach Mass und Zahl gehörig zusammenzustellen.

Die Anwendungen des Princips, dass die Wahrscheinlichkeit der Verbindung zweier Ereignisse, durch Abzählung der beobachteten Fälle, gefunden werden kann, bis ins Einzelne zu verfolgen, würde hier zu weit führen. Ich glaube aber darauf aufmerksam machen zu müssen, dass man diese grosse Quelle der Erkenntnisse im gemeinen Leben viel zu wenig benutzt, und dass man, aus dieser Ursache, sehr häufig über die Wahrscheinlichkeit oder Unwahrscheinlichkeit von Ereignissen zweifelhaft ist, welche aus ordentlichen Beobachtungen, d. i. aus wirklicher Abzählung der günstigen und ungünstigen Fälle, so entschieden werden könnten, dass man bestimmt angeben könnte, ob ein hinlänglicher Grund dafür oder dawider vorhanden ist.

Die Mathematiker haben in dieser Materie einen sehr bedeutenden Schritt vorwärts gethan, dadurch dass sie Mittel gefunden haben, die Sicherheit durch Rechnung zu bestimmen, mit welcher man auf ein Ereigniss rechnen kann, welches die Beobachtungen als wahrscheinlich gegeben haben; diese Sicherheit wächst offenbar mit der Anzahl der beobachteten Fälle. Hätte man z. B. mit dem oben schon erwähnten Würfel von 7 weissen und 5 schwarzen Seiten, nur 100 Mal geworfen, so würde man weit weniger sicher darauf rechnen können, dass das Verhältniss der Anzahl der weissen Würfe, zu der der schwarzen, dem Verhältnisse von 7 zu 5 sehr nahe kömmt, als wenn man 1000, 10000 oder 100000 Mal geworfen hätte. Man würde aber im Stande sein, durch Rechnung

dass Vieles grundlos ist, was man jetzt glaubt, sondern auch, man würde manche Regel, durch ein Heer von Zufälligkeiten durchblicken sehen, welche jetzt noch ganz unerkannt ist, da sie nicht so stark durchblickt, dass sie gewissermassen von selbst sich aufdringt. —

Was ich hier im Allgemeinen gesagt habe, hat bei den astronomischen Beobachtungen und Untersuchungen, bereits sehr interessante Anwendungen gefunden, wovon ich Einiges anführen werde. Wenn man eine einfache Beobachtung macht, z. B. die Entfernung eines Sterns vom Scheitelpunkte misst, so erhält man nie was man erhalten will, sondern immer nur eine Annäherung daran; je vollkommener das Instrument ist, je vorsichtiger und geschickter der Beobachter, desto stärker wird die Annäherung werden; allein die Wahrheit wird nie erreicht, denn einige Unvollkommenheiten hat das Instrument immer, andere entstehen aus unseren, wenn auch durch die stärksten Vergrösserungen geschärften Sinnen, wieder andere aus dem Zittern der Luft, aus der Beleuchtung der Theilungen und aus zahllosen kleinen Ursachen, deren Möglichkeit vorhanden ist, ohne dass berechnet werden könnte, wie sie wirken. Dieses zeigt sich auch durch den Erfolg; wenn die heutige Beobachtung morgen wiederholt wird, so fällt sie ein wenig anders aus, übermorgen wieder anders. Zu den Zeiten der Urväter der Astronomie betrugen die Unterschiede halbe Grade, zu Tycho's Zeiten einzelne Minuten, und jetzt kann man, wenn man solche Hülfsmittel besitzt, wie

sie auf meiner Sternwarte vorhanden sind, mit ziemlicher Sicherheit darauf rechnen, dass die morgende Beobachtung sich nicht über eine Secunde von der heutigen entfernt. Trotz dieser grossen Genauigkeit kann ich eben so wenig als Tycho behaupten, dass die Beobachtung mehr als eine Annäherung an die Wahrheit ist. Aber man sucht die Wahrheit; was soll man dafür annehmen, die heutige Beobachtung oder die morgende? — Offenbar wäre beides gleich falsch, denn es ist kein Grund vorhanden, weshalb die eine der anderen vorgezogen werden sollte. Man nimmt daher das Mittel aus allen, welche man gemacht hat, und diese Vorschrift lässt sich streng rechtfertigen, wenn auch der grosse Lambert eine Einwendung dagegen machte. Das was man durch dieses Mittel erhält, ist aber immer noch nicht die Wahrheit, sondern es weicht davon um eine unbekannte Quantität ab, welche wahrscheinlich desto kleiner wird, je grösser die Anzahl der Beobachtungen und je vollkommener die Hülfsmittel sind. Man übersieht auch ohne Rechnung, dass diejenige Beobachtungsreihe, welche grössere und häufigere Unterschiede vom Mittel zeigt, ein weniger sicheres Resultat giebt als eine andere, deren Abweichungen in engeren Grenzen liegen; aber die Wahrscheinlichkeits-Rechnung gewährt die Mittel, dieses bestimmter zu erkennen; sie lehrt, wie man die Güte der Beobachtungen, aus den dabei vorkommenden Unterschieden selbst, bestimmen soll; sie giebt eine Grenze, innerhalb welcher ein Fehler eben so wahr-

scheinlich ist, als ausserhalb derselben. Diese Grenze heisst der wahrscheinliche Fehler einer Beobachtung, und nur sie gewährt das Mittel, zwei Beobachtungsreihen, so wie die aus ihnen gezogenen Resultate gegen einander genau abzuwägen. Bei dieser Ansicht der Sache ist daher nicht mehr die Rede von wahren astronomischen Bestimmungen; nur wahrscheinliche sucht und findet man, und unter verschiedenen Bestimmungen desselben Gegenstandes, ist diejenige die beste, für deren Wahrscheinlichkeit man die grösste Zahl angeben kann.

Verfolgt man diese Betrachtungen weiter, so führen sie auch auf den rechten Weg, in Fällen wo er weit schwerer zu erkennen ist, z. B. da wo nicht mehr von einfachen Beobachtungen, sondern von Resultaten die Rede ist, welche aus ganzen Reihen von Beobachtungen geschlossen werden müssen. Die Bahn eines Himmelskörpers ist z. B. durch 3 vollständige Beobachtungen gegeben; hat man aber 100 Beobachtungen gemacht, so kann man sie also so bestimmen, dass sie entweder diesen drei, oder jenen drei Beobachtungen vollkommen entspricht, und es ist klar, dass man, weil die Beobachtungen nur Annäherungen an die Wahrheit sind, stets nur eine angenäherte Bahn, und zwar bei jeder neuen Combination eine andere, erhalten wird. Welche von allen Bahnen, die man auf diese Art berechnen kann, soll man aber annehmen? — die Antwort auf diese Frage ertheilt die Wahrscheinlichkeits-Rechnung, sie lehrt unter den unzähligen Bahnen, welche man aus den Beobach-

tungen entwickeln kann, diejenige herauszufinden, welche die grösste Wahrscheinlichkeit für sich hat; sie lässt der Willkür gar keinen Raum, und der Rechner, welcher, vor der Entwickelung dieser Theorie, sich begnügen musste, etwas herauszubringen, was, nach dem Masse seiner Umsicht und Geschicklichkeit, besser oder schlechter mit den Beobachtungen stimmte, hat es jetzt völlig in seiner Gewalt, das Beste was sich aus den Beobachtungen ableiten lässt, ganz methodisch zu finden. Er leistet dadurch freilich auf den Ruhm der Geschicklichkeit, welcher ihm sonst gezollt wurde, wenn er den Beobachtungen sehr nahe genügte, Verzicht; im Gegentheile verdient er Tadel, wenn er nicht den allerhöchsten Punkt, zu dem ja der Zugang geöffnet ist, erreicht. — Aber eben so viel wie dadurch die Astronomen verlieren, eben so viel gewinnt die Astronomie und es ist nicht zu bezweifeln, dass sie, indem die Beobachtungen, durch diese Erfindung, ein ganz anderes Gewicht erhalten, in einem Jahre stärkere Fortschritte machen kann, und wirklich gemacht hat, als früher in 10 Jahren.

So wie man dasjenige Resultat stets finden kann, von welchem sich nachweisen lässt, dass es allen anderen, auf denselben Beobachtungen beruhenden, vorzuziehen ist, so kann man auch die Unsicherheit bestimmen, welche es der Wahrscheinlichkeit nach noch besitzt. In der That ist es nicht genug, behaupten zu können, dass eine Folgerung die wahrscheinlichste ist, welche man aus einer vorhandenen

Beobachtungsreihe ziehen kann; denn es folgt daraus noch nicht, dass sie an sich wahrscheinlich ist. Es ist gewiss, dass selbst diese wahrscheinlichste Bestimmung noch von der Wahrheit abweichen wird, und die wahrscheinlichen Grenzen dieser Abweichung sind es, welche nothwendig angegeben werden müssen, wenn man das Zutrauen deutlich vor Augen haben will, welches der Bestimmung gebührt. Hat der Eine z. B. die Umlaufszeit eines Kometen = 100 Jahren gefunden, und die wahrscheinliche Unsicherheit derselben ¼ Jahr; der Andere die Umlaufszeit = 102 Jahren und den wahrscheinlichen Fehler 1 Jahr, so ist die Wahl zwischen beiden Bestimmungen nicht mehr willkürlich, die erste verdient unbedingt den Vorzug. So habe ich z. B. bei einer der ersten Anwendungen, welche ich von diesen Betrachtungen machte, die wahrscheinlichste Wiederkehrszeit des Olbers'schen Kometen auf den 9. Februar 1887 bestimmt, und den wahrscheinlichen Fehler derselben = 101 Tagen, so dass man den Zeitraum, innerhalb welchem man die Wiederkehr zu erwarten hat, unmittelbar beurtheilen kann. Ohne diese Betrachtungen würde der Zweifel sich auf mehrere Jahre belaufen haben, und jedem Anderen hätte eine neue Untersuchung offen gestanden; jetzt aber kann man das bestimmte Resultat der Beobachtungen erlangen, und wer ein anderes berechnet, findet ein schlechteres. Welche Sicherheit und Festigkeit die Astronomie durch diese Anwendung der Wahrscheinlichkeits-Rechnung erhalten hat, fällt daher in die Augen.

So wie es aber allen neuen Dingen geht, so ist es auch diesen Anwendungen der Wahrscheinlichkeits-Rechnung ergangen. Viele, die nicht in ihren Geist eingedrungen sind, halten sie für überflüssig oder gar fremdartig. Delambre hat in seiner Astronomie viel Unüberlegtes hierüber gesagt und die Recensenten in den englischen Literaturzeitungen gefallen sich, darüber zu spotten, dass einige Astronomen des Continents jetzt die Bahn der Kometen, die Figur der Erde, die Entfernung der Sonne, oder was es sonst sei, nicht mehr der Wahrheit, sondern der Wahrscheinlichkeit gemäss bestimmen. Wir können dieses leicht dulden, allein wir hätten Ursache ihnen sehr dankbar zu sein, wenn sie uns lehrten, diese Dinge nach der Wahrheit festzusetzen; nur wo es uns versagt ist, die Wahrheit zu erkennen, müssen wir uns mit der Wahrscheinlichkeit begnügen. Man hat nie etwas anderes gethan oder thun können; allein oft hat man das Wahrheit genannt, was nur Wahrscheinlichkeit war, und auch von dieser nicht der höchste erreichbare Grad. Den Pythagoreischen Lehrsatz hat Niemand nach der Wahrscheinlichkeit beweisen wollen — weil er sich nach der Wahrheit beweisen lässt.

Von den Anwendungen dieser Betrachtungen auf die Astronomie habe ich etwas lange gehandelt; lieber hätte ich eine Anwendung auf andere Wissenschaften gemacht, welche mit dem täglichen Leben mehr Berührungen haben, allein theils entbehret sie dort noch gänzlich der Ausbildung, und ich selbst bin von anderen Dingen zu wenig unterrichtet, um einen eigenen

Versuch wagen zu können. Ieder, der aber hierüber nachzudenken geneigt ist, wird Gelegenheit genug haben, zu bemerken, dass das was ich von der Astronomie gesagt habe, nur ein Beispiel ist und dass dieselben Dinge, wenn auch in anderer Form, allenthalben vorkommen. Jede, von der Erfahrung zur Theorie sich emporarbeitende Wissenschaft, fängt mit den Beobachtungen an, lernt von der Wahrscheinlichkeits-Rechnung diese anzustellen und zu benutzen, und schliesst endlich, mit der wahrscheinlichsten Theorie. In der Astronomie ist z. B. die Praxis eine Aufgabe der Wahrscheinlichkeits-Rechnung, die Theorie eine Aufgabe der höheren Mechanik. Vor 150 Jahren war es anders, man dachte weder an Wahrscheinlichkeits-Rechnung noch an Mechanik — aber was war da die Wissenschaft gegen jetzt? — ein Chaos von einzelnen Erscheinungen, während sie jetzt ein zusammenhängendes Ganzes bildet, dessen einzelne Theile, durch die genannten kräftigen Bänder, aufs innigste verbunden sind. Es ist sehr lehrreich, den Gang zu betrachten, welchen die Wissenschaft genommen hat, um dahin zu gelangen: sie ist keinesweges von vorausgeschickten Systemen zur Erkenntniss gelangt, so wie es wohl an anderen Orten versucht wird, sie hat im Gegentheile stets die Beobachtungen um Rath gefragt und sich stets gehütet, etwas unter ihre Sätze aufzunehmen, was nicht aus diesen hervorgegangen wäre. Sie ist dadurch freilich nicht sprungweise zum Ziele gelangt, sondern im langsamsten, sichersten Schritte. Wir wollen diesen

bedächtigen Schritt allen Erfahrungswissenschaften wünschen, und hoffen, dass die Wahrscheinlichkeits-Rechnung den rechten Tact dazu, bald so hörbar angeben wird, dass jede Entfernung davon Auge und Ohr beleidigt.

Ueber die Verbindung der astronomischen Beobachtungen mit der Astronomie.

Erwarten Sie nicht, verehrte Zuhörer, dass ich Jhnen heute neue, oder auch nur alte astronomische Resultate mittheilen werde. Ich habe vielmehr die Absicht, um Ihre Aufmerksamkeit zu bitten, auf das, woraus sie sich entwickeln müssen, auf die Verbindung zwischen den astronomischen Beobachtungen und der Astronomie selbst. — Sollte ich Ihnen, labentibus annis, von dem was sich, nach und nach, aus dieser Verbindung entwickelt hat, etwas vorüberführen dürfen, so hoffe ich, dass das was Sie heute sehen müssen, die Anschaulichkeit davon vermehren wird. Ein Blick in Wallensteins Lager eröffnete die Handlungen, welche daraus hervorgingen — wie dieses Lager mögen Sie ansehen, was ich Ihnen heute zeige. Vergleichen müssen Sie aber nicht weiter!

Sie wissen, welche Aufgabe die Astronomie zu lösen hat; die Oerter am Himmel soll sie angeben, wo Sonne, Mond, Planeten, Kometen und Sterne gestanden haben, stehen und stehen werden. So

lange nothwendig ist, jedesmal am Himmel nachzusehen, um zu erfahren, wo einer dieser Körper sich befindet, so lange ist keine Astronomie vorhanden. Die Astrologen waren keine Astronomen, wenn sie waren wie die Dichter sie zeichnen, denn sie mussten, am Vorabend eines wichtigen Ereignisses, ihre Warte besteigen, um die Zukunft ihrer Helden zu erfahren; wären sie Astronomen gewesen, so hätten sie, ohne nach den Sternen zu sehen, ihre Stellungen gekannt; sie hätten sie nicht nur für diese Zeit gekannt, sondern für alle Zeiten, für die ganze Lebensdauer ihrer Helden. Bei dieser Gelegenheit will ich jedoch, so wenig es übrigens hieher gehört, bemerken, dass die Figur, welche die Dichter von den Astrologen zeichnen, wohl nur eine Manier sein wird, vergleichbar der Manier, welche sich, auf aegyptischen Monumenten, in der Zeichnung von Menschen und Thieren findet, die wirklich nie so ausgesehen haben wie diese Bilder. Der Astrolog der Dichter wird von aller Kenntniss entkleidet, indem er nachsehen muss, was diese ihn gelehrt haben würde; dadurch wird dem Verstande des Helden das schlechte Compliment gemacht, dass er sich über die wahre Natur dieses Nachsehens täuschen lässt. Ist das die Absicht der Dichter gewesen? —

Aber auch in unserer prosaischen Welt kommt es vor, dass das Beobachten der Gestirne als Beweis astronomischer Kenntniss angesehen wird, während es doch klar ist, dass die Astronomie, je vollkommener sie ihre Aufgabe löset, desto freier von

dem Beobachten werden muss. — Dennoch, je mehr von grosser Vollkommenheit der Astronomie geredet wird, desto eifriger sehen wir die Astronomen sich mit ihren Instrumenten beschäftigen! — Die Astronomen müssen offenbar nicht an jene grosse Vollkommenheit glauben, und doch sind sie es gerade, welche davon reden. Ich werde diesen Widerspruch aufzuklären versuchen. Ich muss Ihnen aber vorhersagen, dass der Weg, der uns dahin führen wird, ein langer ist, selbst wenn jede Krümmung auf das Sorgfältigste vermieden wird.

Dass ein sehr grosser Zwischenraum zwischen den astronomischen Beobachtungen und der Astronomie, d. h. der Kenntniss der Bewegungen der Gestirne liegt, werde ich leicht anschaulich machen können. Setzen Sie sich nur in den Fall, durch gute Augen und instrumentale Hülfsmittel, in den Stand gesetzt zu sein, die Richtung, in welcher ein Gestirn in diesem Augenblicke erscheint, richtig auffassen zu können, also eine astronomische Beobachtung — die nichts anderes ist als diese Auffassung — machen zu können; machen Sie diese Beobachtung zu hundert verschiedenen Zeiten, — dann haben Sie hundert Richtungen, in welchen das Gestirn nach und nach erschienen ist; — aber werden Sie dadurch wissen, in welcher Richtung es zu jeder späteren Zeit erscheinen wird, oder zu jeder früheren erschienen ist? — gewiss nicht! — die hundert Richtungen nach dem Gestirne bleiben so lange isolirte Thatsachen, ohne alle Consequenz, bis es dem Verstande gelungen sein wird,

eine Verbindung zwischen ihnen und dem Vorangegangenen und Folgenden aufzufinden. Die Beobachtungen machen also nicht die Astronomie, sondern der Verstand macht sie; die ersteren enthalten, an sich selbst kein Atom davon, aber sie sind das Material, woraus der Verstand die Astronomie zusammensetzen kann. — Erlauben Sie mir an ein, freilich stark verbrauchtes, Gleichniss von Bausteinen und einem Gebäude zu erinnern: sind die Steine gar nicht vorhanden, so entsteht sicher auch kein Gebäude; sind sie nicht fest, so erhält es keine Dauer; sie mögen aber so fest und gut behauen sein als man will, so ist erstlich gar nicht nothwendig, dass sie zu einem Gebäude zusammengefügt werden, und zweitens, wenn auch dieses geschieht, kann eben sowohl die Kuppel von St. Peter, als eine Dorfkirche daraus gemacht werden.

Ich muss näher erklären, was ich unter einer astronomischen Beobachtung verstehen werde. An sich ist sie, wie ich schon gesagt habe, die Auffassung der Richtung, in welcher ein Gestirn gesehen wird; allein diese Richtung muss so bezeichnet werden, dass sie von jeder anderen unterschieden werden kann. Anschaulich ist Jedem, ohne Zweifel, die Bezeichnungsart der geographischen Lage der Oerter auf der Erde: sie besteht in der Angabe ihrer geographischen Breite und Länge. Ganz analog hiermit ist die Angabe des Ortes eines Gestirns an der Himmelskugel, d. h. die Bezeichnung seiner Richtung. Das Auge des Beobachters wird in den Mittelpunkt dieser Kugel

versetzt, und der Aequator und die Meridiane werden auf sie gezeichnet, genau so wie wir sie auf der Erdkugel sehen. Wird jetzt die Richtungslinie nach einem Gestirne gezogen, so geht sie von dem Mittelpunkte der Kugel, wo sich ja das Auge befindet, aus, und durchschneidet ihre Oberfläche an einem Punkte, dessen Lage auf der Kugel ihre Richtung angiebt und nun durch Breite und Länge genau so bestimmt wird, wie die Lage eines Ortes auf der Erdkugel. Was aber hier Breite heisst, heisst dort Abweichung; was hier Länge heisst, heisst dort Geradeaufsteigung. Aber die Längen der irdischen Oerter werden von einem Meridiane an gezählt, welchen man willkürlich wählen kann, und welcher bekanntlich oft der von Ferro ist, oft der von Paris, der von Greenwich — oder wie die Oerter heissen mögen, welche die Eigenliebe der verschiedenen Völker zu den ersten gemacht hat; — statt eines solchen willkürlichen Anfangspunktes der Längen, hat die Himmelskugel einen bestimmten Anfangspunkt der Geradenaufsteigungen, nämlich den Punkt ihres Aequators, wo dieser von der Bewegungslinie der Sonne durchschnitten wird, indem sie von der Südseite des Aequators auf seine Nordseite übergeht, also den Punkt, wo die Sonne sich im Augenblicke der Frühlingsnachtgleiche befindet. — Eine Beobachtung eines Gestirns ist also die Angabe seiner Geradenaufsteigung und Abweichung, gültig für den Augenblick, in welchem sie gemacht worden ist. Die Erfindung dieser Angabe ist das, was durch die

Hülfsmittel, welche die Sternwarten besitzen, beabsichtigt wird.

Wir können uns nun von der Beobachtungsreihe eines Gestirns, zum Beispiele eines Planeten, eine anschauliche Vorstellung machen. Sie giebt seine verschiedenen Oerter an der Himmelskugel genau so an, wie die Oerter eines Schiffes durch die Längen und Breiten angegeben werden, welche sein Tagebuch für jeden Mittag bestimmt enthält. So wie man den Weg des Schiffes, oder um schärfer zu reden, die Punkte dieses Weges, welche es an jedem Mittage eingenommen hat, nach diesen Angaben auf eine Seekarte zeichnen kann, eben so kann man auch den Weg des Planeten an der Himmelskugel, nach seinen beobachteten Geradenaufsteigungen und Abweichungen, auf eine Himmelskarte zeichnen. Allein man lernt den Weg des Schiffes aus dieser Aufzeichnung nicht so genau kennen, als durch die Zahlen selbst, woraus sie entstanden ist; und eben so versteht es sich, dass man den Weg des Gestirns der Genauigkeit berauben würde, welche die Beobachtungen seiner Kenntniss geben, wenn man von diesen zu einer Aufzeichnung übergehen wollte. Für die wissenschaftliche Anwendung fällt daher dieses Versinnlichungsmittel weg, und für sie ist nur das Zahlenverzeichniss vorhanden, welches die Geradenaufsteigungen und Abweichungen, zur Zeit der verschiedenen Beobachtungen, enthält.

Die Astronomie hat keine andere Aufgabe, als Regeln für die Bewegung jedes Gestirns zu finden, aus welchen sein Ort, d. h. seine Geradeaufsteigung

und Abweichung, für jede beliebige Zeit, folgt. Sie kann aber nicht mehr leisten, als ihre Regeln den vorhandenen Beobachtungen des Gestirns entsprechend zu machen; dass sie, wenn sie sich bei allen vorhandenen Beobachtungen bewähren, sich auch in zukünftiger Zeit bewähren werden, ist ein Schluss, welcher auf der Voraussetzung beruhet, dass willkürliche Veränderungen der Bewegung nicht eintreten; aber diese Voraussetzung ist wenigstens der bisherigen Erfahrung gemäss, welche nie die geringste Spur irgend einer unmittelbaren Einwirkung auf die Bewegungen der Himmelskörper, einer solchen nämlich, welche nicht Folge stetig wirkender Ursachen wäre, verrathen hat. — So wie die vorhandene Beobachtungsreihe die einzige Quelle ist, aus welcher die Astronomie schöpfen kann, so ist ihre Verpflichtung auch vollkommen erfüllt, sobald sie diese Quelle erschöpft hat. Hierdurch erhält sie ein ganz bestimmtes Ziel, und zwar ist es zu jeder Zeit bestimmt; so wie die Zeit fortschreitet und zu der jetzt vorhandenen Beobachtungsreihe Beiträge liefert, dehnt sich die Verpflichtung der Astronomie auch auf diese aus. Soll sie alles leisten, was man von ihr fordern kann, so müssen ihre Regeln mit der ganzen, stets vorhandenen Reihe von Beobachtungen, so vollkommen übereinstimmen, dass sich nie ein so grosser Unterschied findet, dass man ihn nicht der Unvollkommenheit der Beobachtungen zuschreiben könnte.

Die Regeln, welchen die Bewegung eines Gestirns folgt, sind jedesmal das Resultat der Anwendung einer

allgemeinen, allen, einem gleichen Bewegungsgesetze unterworfenen Gestirnen, gemeinschaftlichen Theorie, auf den besonderen Fall; welche Anwendung dadurch erlangt wird, dass gewissen Grössen, welche die allgemeine Theorie — gerade weil sie allen ähnlichen Fällen entsprechen muss — unbestimmt lässt, die besonderen Werthe gegeben werden, welche sich auf den Fall jedes Gestirns beziehen. Ich muss dieses durch ein Paar Worte erläutern: Kepler hat bekanntlich gelehrt, dass jeder Planet sich in einer elliptischen Bahn um die Sonne bewegt, so dass diese den einen ihrer beiden Brennpunkte einnimmt; dass der Raum, welcher von einem Bogen dieser Bahn und den von seinen beiden Endpunkten nach der Sonne gelegten Radien eingeschlossen wird, in demselben Verhältnisse wie die Zeit wächst; dass die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten sich zu einander verhalten, wie die Würfel der grossen Axen der Bahnen, welche sie beschreiben. Betrachtet man diese Kepler'schen Lehren als ein Gesetz, wonach alle Planeten sich wirklich bewegen, so sind sie das was ich eben ihre allgemeine Theorie genannt habe; obgleich also diese für alle Planeten gleich ist, so ist die besondere Theorie eines jeden von ihnen, doch von der eines anderen völlig verschieden, denn die Ellipse, welche er beschreibt, ist eine andere; sie hat die ihr eigenthümlichen Werthe ihrer grössten und kleinsten Axe, und die ihr eigenthümliche Lage im Raume, und der Planet steht, zu irgend einer bestimmten Zeit, an einem bestimmten Punkte ihres

Umfanges. Diese Eigenthümlichkeiten der Bewegung jedes Planeten muss man kennen, wenn man die allgemeine Theorie aller Planeten — nämlich, der gegenwärtigen Annahme gemäss, die Kepler'schen Gesetze — zu der besonderen, ihm zugehörigen machen will; zu ihrer Kenntniss ist erforderlich, dass man 6 Grössen kenne, nämlich die beiden Axen seiner Ellipse, drei zur Bestimmung ihrer Lage im Raume erforderliche Grössen, und den Punkt der Ellipse, wo er sich zu irgend einer gegebenen Zeit befand. — Kennt man also diese 6 Grössen, welche man die 6 Elemente der Planetenbahn nennt, so kennt man damit, falls er sich wirklich nach den Kepler'schen Gesetzen bewegt, seine Bewegung vollständig, und kann also daraus berechnen, wo er sich in jedem Augenblicke am Himmel befindet oder befunden hat.

Ich hoffe, nun leicht darstellen zu können, von welcher Art der Nutzen ist, den die Astronomie, wenn es sich um die Kenntniss der Bewegung eines Planeten handelt, aus seinen vorhandenen Beobachtungen ziehen kann. Zuerst will ich annehmen, dass man ihrer Untersuchung, die in den Kepler'schen Gesetzen enthaltene allgemeine Theorie zum Grunde legen will und, gleichviel durch welche Mittel, schon zu einer Kenntniss der Werthe der 6 Elemente, welche dem Planeten zugehören, gelangt sei. Hieraus kann man den Ort am Himmel, d. h. die Geradeaufsteigung und Abweichung berechnen, wohin die angenommene besondere Theorie des Planeten ihn zu jeder seiner Beobachtungszeiten versetzt; man kann diesen Ort

mit dem wirklich beobachteten vergleichen, und also das Verhalten jener Theorie zu jeder einzelnen Beobachtung der ganzen Reihe prüfen. Findet sich dadurch nie ein Unterschied, welcher nicht in den Grenzen der möglichen Unvollkommenheit der Beobachtung läge, so ist nichts weiter zu wünschen: die Richtigkeit der angenommenen Theorie des Planeten, wird durch alle Thatsachen, wodurch man sie prüfen kann, bestätigt und die Astronomie findet ihre Forderungen, insofern sie sich auf diesen Planeten beziehen, durch den Besitz der solchergestalt bestätigten Theorie befriedigt. — Allein wenn sich Unterschiede zwischen der, der Rechnung zum Grunde gelegten besonderen Theorie des Planeten und den Beobachtungen finden, welche nicht mehr durch Unvollkommenheiten der letzteren erklärt werden können, so tritt die Unvollkommenheit der ersteren hervor, und muss nun den Versuch zur Folge haben, diese durch eine Berichtigung der Werthe der 6 Elemente wegzuschaffen. Wenn der Planet sich wirklich nach den Kepler'schen Gesetzen bewegt, se muss man jedesmal dahin gelangen können, seine Elemente so zu bestimmen, dass allen seinen Beobachtungen dadurch entsprochen wird; denn dann wird dadurch nicht mehr gefordert, als die Absonderung des einen, den Beobachtungen zugehörigen Falles, von allen übrigen, gleichfalls den Kepler'schen Gesetzen entsprechenden Fällen. — Was ich hier, um es näher verfolgen zu können, auf die den Kepler'schen Gesetzen gemässe allgemeine Theorie bezogen habe, kann aber offenbar ausgedehnter ver-

standen werden: immer wenn die allgemeine Theorie der Planetenbewegung, von welcher Beschaffenheit sie auch sein möge, bekannt ist, führt ein gerader Weg von den Beobachtungen eines Planeten zu der Kenntniss der Werthe der Elemente derselben, welche ihm im Besonderen angehören.

Es ist nun wesentlich, dass wir auch das Verhalten einer unrichtigen, oder unvollständigen allgemeinen Theorie, zu den Beobachtungen eines Planeten, ins Auge fassen. Offenbar kann der Versuch nicht gelingen, eine solche Theorie, durch irgend eine Annahme der Werthe ihrer Elemente, einer Beobachtungsreihe anzupassen, welche zahlreich genug und lange genug fortgesetzt ist, um sie als eine vollständige Entwickelung der wahren Bewegung eines Planeten ansehen zu können; denn sein Gelingen würde die Gleichheit zweier Gesetze, deren eins durch die Beobachtungen richtig, das andere durch die allgemeine Theorie, der Annahme gemäss, unrichtig, ausgesprochen ist, also die Vereinigung sich widersprechender Gesetze, fordern. In dieser Unmöglichkeit, eine allgemeine Theorie in eine besondere, den Beobachtungen entsprechende zu verwandeln, zeigt sich also die Unrichtigkeit oder Unvollständigkeit der ersteren. Die Beobachtungen verrathen diese durch das Zeugniss, welches sie gegen sie ablegen; sie führen nicht zu der Berichtigung des Fehlers der allgemeinen Theorie, sondern sie beschränken sich, Widerspruch dagegen zu erheben, so lange Grund dazu vorhanden ist. Dieses ist die Natur

des Verhaltens aller Beobachtungen, nicht allein astronomischer, zu den Gesetzen, deren Wirkung sich in ihnen an den Tag legt. Hierdurch geben die Beobachtungen Anlass, fehlerhafte oder unvollständige allgemeine Theorien, zu berichtigen, oder statt ihrer eine richtige zu wählen. Von dieser führen sie, wie ich schon gezeigt habe, direct zur Kenntniss der besonderen Theorie jedes Falles, und immer wenn es möglich ist, eine solche zu finden, welche einer vollständigen Beobachtungsreihe entspricht, erfüllt sie nicht nur die Forderung der Astronomie, sondern bestätigt auch zugleich die Richtigkeit der allgemeinen Theorie, wovon sie ein Fall ist. — Auf diese Art haben die astronomischen Beobachtungen wirklich nach und nach zur Kenntniss der Bewegungsgesetze der Himmelskörper geführt, welche wir gegenwärtig besitzen. Ich führe, um an den Gang ihrer Entwickelung zu erinnern, an, dass die ersten astronomischen Theorien der Planetenbewegung eine Reihenfolge unrichtiger waren, welche nach und nach vor dem Widerspruche verschwanden, welchen die Beobachtungen gegen sie erhoben; dass es darauf dem Scharfsinne Keplers gelang, sie durch eine richtige Theorie zu ersetzen, welche so lange auch als vollständig erschien, bis die Beobachtungen neuen, obgleich sich in viel kleineren Quantitäten als früher äussernden, Widerspruch erhoben; dass dann Newton das allgemeine Princip der Bewegungen in der gegenseitigen Anziehung der Himmelskörper entdeckte und dadurch den Weg zur Vervollständigung der

Kepler'schen Theorie eröffnete, wodurch der Widerspruch der Beobachtungen, während langer Zeit zum Schweigen gebracht wurde; dass endlich dieser gegenwärtig wieder seine Stimme erhebt, und dadurch bevorstehende neue Entdeckungen in Aussicht bringt.

Die Darstellung der Verbindungsart der Beobachtungen mit der Astronomie, welche ich eben versucht habe, wird ihre Umrisse ziemlich getreu darstellen; allein ich bin weit entfernt, diese für so bezeichnend zu halten, dass ich erwartete, ihren Gegenstand dadurch anschaulich werden zu sehen. Keinen Augenblick zweifelhaft, dass meine heutige Verpflichtung gegen Sie, verehrte Zuhörer, fordert, dass ich Sie nicht mit allgemeinen Begriffen abfinde (welche vor der Kenntniss einer Sache unverständlich, nach derselben aber unnütz sind) eile ich daher zu dem Versuche, unsern Gegenstand weiter zu enthüllen. Ich muss Ihnen zuerst die vorhandenen Beobachtungsreihen der älteren Planeten darzustellen suchen; denn die Beschaffenheit dieser Grundlage aller Untersuchungen über das Sonnensystem hat den grössten Einfluss auf Art und Form derselben. Von Venus, Mars, Jupiter und Saturn besitzen wir, von jedem eine, zwischen 271 und 228 Jahren vor unserer Zeitrechnung gemachte Beobachtungen; sie stammen aus Alexandrien, aus dem Pallaste des wissenschaftlichen Ptolomäus Philadelphus und sind im Almageste auf uns gekommen. Nach einer Zwischenzeit von etwa 400 Jahren, zwischen 125 und 141 unserer

Zeitrechnung, finden wir (nicht mehr ganz vereinzelt) Beobachtungen des Claudius Ptolomäus, des Verfassers des Almagests, dessen Name zwar an die aegyptischen Könige erinnert, der aber kein Nachkomme von ihnen gewesen zu sein scheint. Rom bietet nichts dieser Art dar. Die Jahrbücher von China enthalten häufige, auch viel weiter als die alexandrinischen Beobachtungen zurückführende Nachrichten über die Stellungen der Planeten, welche aber selten von der Beschaffenheit sind, dass sie astronomischer Anwendung genügen könnten. — Bald nachdem die Araber die römischen Fesseln gesprengt hatten, gelangte die Astronomie unter ihnen zu hoher Blüthe. Der Kalif Almamon unterstützte sie nicht allein, sondern bereicherte sie selbst mit Beobachtungen, welche wir noch besitzen. Von dem Anfange des neunten Jahrhunderts, der Zeit Almamons, bis in das funfzehnte, trug die Saat, die er gestreut hatte, ihre Früchte. Während fast dieses ganzen Zeitraumes, während des goldenen Zeitraumes der Klöster, lag auf Europa dichte Finsterniss der Unwissenheit. Der erste namhafte Astronom, der daraus hervortauchte, war der im J. 1436 geborene Johann Müller, von seinem Geburtsorte Königsbergen in Franken Regiomontanus genannt, derselbe dem die Ehre gebührt, zum ersten Male einen Kometen ordentlich beobachtet zu haben, der es aber hierbei nicht bewenden liess, sondern viele, verhältnissmässig zu seiner Zeit vortreffliche Beobachtungen lieferte. 36 Jahre später wurde Copernicus geboren; seine Erklärung des

Weltsystems konnte nur neues Leben über die Astronomie verbreiten. Wilhelm IV. von Hessen, einem Fürsten, auch unter den Astronomen, war, bald nachher, die Ehre vorbehalten, die erste Sternwarte in Europa zu bauen, sie mit den vollkommensten Instrumenten zu bereichern, welche die Zeit hervorzubringen vermogte, und durch sie und eigene, von seinem Astronomen Rothmann unterstützte Kräfte, von 1561 bis 1592, die Bewegungen am Himmel zu beobachten. Nur 14 Jahre nach ihm, im J. 1546, wurde den Astronomen ein König geboren: Tycho de Brahe — König nenne ich ihn, Wilhelm IV. nur Fürst, nicht etwa, weil ich für entschieden hielte, dass seine Leistungen in der beobachtenden Astronomie, und nicht die des Landgrafen, den eigentlichen Anfang ihrer neuen Periode bezeichneten, sondern weil er ein grösseres Gebiet der Astronomie, sogar ihr ganzes damals zugängliches, beherrschte. Diese Periode schliesst sich, nach mehr als hundertjähriger Dauer, mit dem Tode Hevels, im Jahre 1687. Die nun folgende eröffnete Johannes Flamsteed durch Anwendung neuer, vergrösserte Erfolge verheissender und gewährender Hülfsmittel; sie geht bis zum Jahre 1750, wo Bradley die Greenwicher Sternwarte betrat und dadurch eine neue Periode eröffnete, in welcher wir uns noch befinden.

Ich wollte Ihnen die Beobachtungsreihe eines Planeten, so wie sie vorhanden ist, darstellen, und habe eben nicht sowohl davon, als von geschichtlichen Daten gesprochen. Diese mögen mit den Ueberschriften

der Säle verglichen werden, in welchen die Werke der einzelnen Schulen der Malerei, welche eine reiche Sammlung enthält, gesondert sind. Von dem Wesen und dem Werthe der Werke dieser Schulen erhält man dadurch keine Vorstellung; man erhält sie auch dann nicht, wenn man in jeden der Säle flüchtige Blicke wirft; Theilnahme erzeugt sich erst aus der Einsicht, nicht eher aus der Uebersicht, als bis diese aus der Einsicht hervorgegangen ist. — Dieser, zu meinem heutigen Gegenstande vollkommen passende Vergleich, kann Ihnen, verehrte Zuhörer, nicht zweifelhaft lassen, dass ich, in der vollkommenen Unmöglichkeit, in einer einzigen Stunde etwas hervorzubringen, welches mit Einsicht in das Fortschreiten der Beobachtungskunst und seinen Einfluss auf die Astronomie, auch nur entfernte Aehnlichkeit besässe, nicht grossen Muth fühlen kann, meinen hoffnungslosen Weg fortzusetzen. Doch es sei! — vielleicht gelingt es mir, die Art von Eindruck zu hinterlassen, welche Jeder aus der Bildergallerie mitnimmt, der sie in einer Stunde durchläuft.

In der ersten Periode der Astronomie, also von den alexandrinischen Astronomen bis zu Tycho de Brahe, sehen wir das Bestreben der Beobachter dahin gerichtet, das was sie über den Ort eines Gestirns wissen wollten, nämlich seine Abweichung und den Unterschied seiner Geradenaufsteigung von der eines anderen Sterns, durch instrumentale Nachahmung der täglichen Bewegung des Himmels, beziehungsweise auf den Horizont ihres Ortes, unmittelbar zu erkennen.

Sie wandten also ein Instrument an, welches die Kreise der Himmelskugel materiell darstellte, die sogenannte Armillarsphäre; welches einen Zeiger trug, den sie nach dem zu beobachtenden Sterne richteten, und dessen Richtung dann durch jene Kreise angegeben wurde. Allein die tägliche Bewegung eines Sternes ist eine weit zusammengesetztere Erscheinung als die tägliche Drehung der Himmelskugel um ihre Axe, welche durch die Armillarsphäre dargestellt wird; denn sie ist nicht die reine Folge von dieser, sondern durch die Erhöhung modificirt, welche der Stern durch die Strahlenbrechung erfährt; auch ist die jedesmalige Berichtigung des Instruments schwierig und zeitraubend. Die Anwendung der Armillarsphäre empfahl sich durch ihre Einfachheit nur so lange, als man beides nicht berücksichtigte; wie es wirklich, zu der Zeit wovon ich rede, weder geschah, noch ein Interesse hatte, indem die Beobachtungen, auch bei Vernachlässigung aller kleineren Einflüsse, die höchst bescheidenen Forderungen der damaligen Theorien leicht zu befriedigen vermochten. Die Folge hiervon aber ist, dass die vor-tychonischen Beobachtungen nur sehr rohe Annäherungen sind.

Auf den Sternwarten der Tychonischen Periode sehen wir den Werth der Genauigkeit der Beobachtungen schon so anerkannt, dass man ihr die Leichtigkeit der Verfahrungsarten gern zum Opfer brachte; dass man selbst eine trigonometrische Rechnung nicht scheuete, wenn sie sich zwischen eine vortheilhafte Beobachtungsart und ihr Resultat stellte.

Wir vermissen nun die Armillarsphäre, oder sehen sie wenigstens nicht mehr an dem Ehrenplatze, welcher einem im Meridiane aufgestellten grossen Quadranten, und einem ähnlichen Instrumente eingeräumt ist, dessen Aufstellungsart so eingerichtet ist, dass es in beliebige Lagen gegen den Horizont gebracht, und zu der Messung der Entfernung jedes Sternenpaars voneinander, angewandt werden kann. Durch das erstere Instrument, welches die Entfernungen der Gestirne von dem Scheitelpunkte angiebt, werden ihre Abweichungen bestimmt; kennt man diese für zwei Gestirne, deren Entfernung mit dem zweiten Jnstrumente gemessen ist, so kennt man damit die drei Seiten eines Kugeldreiecks und kann daraus den der gemessenen Seite gegenüberstehenden Winkel berechnen, welcher der durch die Beobachtungen zu bestimmende Unterschied der Geradenaufsteigungen beider Sterne ist. — Diese neue Anordnungsart der Beobachtungen lieferte viel genauere Resultate als die frühere. Sie war wirklich aus der Verfolgung der Absicht, diese herbeizuführen, hervorgegangen, welche Absicht durch Alles, was ihr Erfolg versprach, auch durch bedeutende Vergrösserung der Instrumente und Nachdenken über die vortheilhafteste Einrichtung ihrer einzelnen Theile, nach besten Kräften unterstützt wurde.

Die Sternwarten der Flamsteed'schen Periode zeigen uns die Einführung eines neuen Principes in die Beobachtungskunst: sie zeigen uns die sich um ihre Axe drehende Erde selbst, als astro-

nomisches Instrument benutzt! — die unveränderliche Drehungsgeschwindigkeit derselben wird als Mittel angewandt, den Winkel am Pole zwischen zwei Gestirnen, oder den Unterschied ihrer Geradenaufsteigungen, zu messen. Indem nämlich die Zwischenzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen jedes Fixsterns durch den Meridian, ein Sterntag genannt und durch den Gang einer Uhr in seine Stunden, Minuten und Secunden getheilt wird, drehet sich, während diese Uhr um 24 Stunden fortrückt, der ganze Umfang des Aequators, von 360°, durch den Meridian, und in jeder Stunde der 24ste Theil, oder 15° davon, in jeder Minute der 60ste Theil von 15°, oder 15 Minuten, in jeder Secunde 15 Secunden. Bemerkt man also an der Uhr, die Anzahl von Stunden, Minuten und Secunden, welche zwischen den Durchgängen zweier Sterne durch den Meridian verfliessen, so erlangt man dadurch unmittelbar die Kenntniss des Bogens des Aequators der Himmelskugel, welcher in derselben Zeit durch den Meridian gegangen ist, oder, was damit gleich gültig ist, die Kenntniss des Unterschiedes ihrer Geradenaufsteigungen. — Durch die Einführung dieser Beobachtungsart ist also die Uhr ein Messinstrument der Sternwarten geworden; von ihr unterstützt ist ein einziges, zur Messung der Entfernungen der Sterne von dem Scheitelpunkte eingerichtetes und so aufgestelltes Instrument, dass seine Absehenslinie, bei ihrer Bewegung den Meridian der Himmelskugel beschreibt, hinreichend, sowohl die Abweichungen, als auch die Unterschiede der Geradenauf-

steigungen der Sterne zu bestimmen. Flamsteed's Bestreben war auf eine grosse Vermehrung der Genauigkeit der früheren, durch die Tychonischen Hülfsmittel und Methoden erlangte Beobachtungen gerichtet. Sein Erfolg musste abhängig sein von der Regelmässigkeit des Ganges seiner Uhr und von der Genauigkeit des im Meridiane aufgestellten Instruments; er wandte also eigenes Nachdenken auf die Vervollkommnung beider, und benutzte die Einsichten und die Kunstfertigkeit Anderer, so wie auch die schon gemachte Erfindung der Anbringung des Fernrohrs auf den Messinstrumenten, und konnte sich in der That eines solchen Gelingens erfreuen, dass seine Beobachtungen die Tychonischen eben so weit überragten, als diese die Ptolomäischen überragt hatten. Das Princip der Flamsteed'schen Beobachtungen, nämlich die Anwendung der Drehungsbewegung der Erde selbst, hat der Astronomie unschätzbare Früchte geliefert und wird nie aufhören sie ihr zu liefern.

Dieses Princip regiert also auch auf den Sternwarten, der mit Bradley anfangenden Periode; nur durch viel weiter getriebene Kunst in der Ausführung und Anwendung ihrer Hülfsmittel unterscheiden diese Sternwarten sich von ihren Vorgängerinnen. — Mit so schnellen Schritten wir uns auch vor allen Einzelnheiten vorüberbewegen müssen, um nicht unser heutiges Ziel unerreicht zu lassen, so müssen wir doch ein Paar Augenblicke verweilen, um Bradley's Sternwarte einigermassen kennen zu lernen. Sie wissen, hochgeehrte Zuhörer, dass die Entdeckungen

der Aberration und Nutation vorangehen mussten, ehe die Genauigkeit der Beobachtungen Reiz für die Astronomen und Nutzen für die Astronomie erhalten konnte. Als Bradley im J. 1750 die Sternwarte in Greenwich betrat, waren ihm diese Entdeckungen schon gelungen, und damit war ihm nicht mehr zweifelhaft, dass fernere Beobachtungen, entweder eine bis auf eine oder ein Paar Secunden gehende Sicherheit besitzen mussten, oder kein Interesse gewähren konnten. Die Entwickelung der Newton'schen Theorie war nun schon so weit fortgeschritten, dass die Astronomie Dienste von ihren Sternwarten fordern musste; und Bradley war der Mann, der diese Forderung begriff, und daher die neu zu organisirende Sternwarte nicht mit zierlichem, glänzend polirten Spielzeuge, sondern mit Instrumenten füllen wollte, welche, allenthalben wo sie befragt wurden, unwidersprechliche Entscheidungen geben sollten. Wir sehen zuerst eine Pendeluhr, welche das was sie darstellen soll, nämlich die Axendrehung der Erde, so genau trifft, dass die Kleinheit ihrer Abweichungen davon sie fast der Wahrnehmung entzieht. Wir sehen ferner einen prachtvoll gebaueten und eingetheilten Mauerquadranten von 8 Fuss Halbmesser, an einer mächtigen Steinmasse im Meridiane befestigt. Zu seiner Unterstützung sehen wir denselben Zenithsector aufgestellt, der, durch die Herbeiführung der Entdeckungen der Aberration und Nutation, schon grosse Thaten gethan hatte und der nun angewandt wird, um von den unmittelbaren Angaben des Quadranten zu den

Entfernungen der Sterne vom Scheitelpunkte, welche man eigentlich verlangt, zu führen. Wir sehen endlich ein Instrument, welches schon Olaus Römer angewandt und Mittagsfernrohr genannt hatte; ein Fernrohr von 8 Fuss Länge, um eine wagerechte, von Osten nach Westen gehende Axe drehbar, deren beide Enden in Lagern ruhen, welche an zwei starken Steinpfeilern befestigt sind. Dieses Instrument ist mit einer Sorgfalt und einem Aufwande von Kunst gebauet, welche nicht zurückstehen gegen die sich an dem Mauerquadranten zeigenden; es besitzt alle Erfordernisse, wodurch hervorgebracht werden kann, dass seine Absehenslinie, bei seiner Drehung um die Axe, nirgend aus dem Meridiane ausweicht. Es dient also augenscheinlich zur Beobachtung der Zeiten der Durchgänge der Sterne durch den Meridian; und wenn Bradley es dem, auch im Meridiane aufgestellten Mauerquadranten zugesellt hat, durch welchen Flamsteed sowohl die Entfernungen der Sterne vom Scheitelpunkte, als auch die Zeiten ihrer Durchgänge beobachtete, so kann seine Absicht keine andere gewesen sein, als die letzteren durch ein besonders dazu eingerichtetes Instrument mit ungleich grösserer Sicherheit zu erhalten. — Dieses ist Bradley's Sternwarte, und diese Sternwarte regierte der, der sie möglich gemacht hatte, nicht um mit ihr ein fruchtloses Spiel zu treiben, sondern um sie dem ernsten Dienste der Astronomie zu weihen. Die Folgen dieser Verbindung muss Jeder, ohne dass ich sie namhaft mache, ermessen können!

Bradley starb 1762, aber bis 1810, also noch 48 Jahre lang, blieb Alles auf der Greenwicher Sternwarte wie er es hinterlassen hatte. Während Bradley's Zeit sehen wir, an anderen Orten, das kurze Hervortreten der Göttinger Sternwarte unter Tobias Mayer, dessen früher Tod sie, bis auf die Mauern und die Instrumente, wieder vernichtete; ferner die nicht minder kundigen Bemühungen Lacailles. In den 48 Jahren nach Bradley's Tode zeigen sich die Sternwarte der Pariser Kriegsschule und die in Palermo, aber sie liefern nicht sowohl Beiträge zur Kenntniss des Planetenlaufes, als Beobachtungen von Fixsternen; die Sternwarte des Herzogs Ernst von Gotha, auf dem Seeberge, erregt Erwartungen ohne sie zu erfüllen; was etwa an anderen Orten geschehen soll, bleibt erfolgloses, meistens nicht einmal erfreuliches Spiel. Kurz, von 1762 bis 1810 erkennt die Astronomie des Sonnensystems nur eine Quelle an, die in Greenwich, aber nicht mehr eine so klar und reichlich als zu Bradley's Zeit, fliessende. — Die dann folgenden 30 Jahre bis jetzt, zeigen uns ein vielseitiges, aufopferndes Bestreben, die Anzahl der Sternwarten zu vermehren; auch Künstler zeigen sie uns, welchen Scharfsinn und Kenntnisse zu Gebote stehen, die sie zur Ausrüstung der vielen neuen, oder neueingerichteten Sternwarten verwenden. Vermehrte Kunst in der Eintheilung der Instrumente bringt hervor, dass diese jetzt eines so grossen Halbmessers nicht mehr bedürfen, als am Anfange der Periode, ohne dadurch an Genauigkeit zu verlieren; jetzt kann, statt des

Quadranten von 8 Fuss Halbmesser, ein Instrument von 1½ oder 2 Fuss Halbmesser angewandt werden, und hieraus geht der Vortheil hervor, dass ganze Kreise, statt jener Viertel davon, gebauet werden können. Nur diese sieht man jetzt auf den Sternwarten und sie vereinigen wieder die beiden, von Bradley getrennten Zwecke, indem sie die Beobachtung der Entfernung eines Sterns vom Scheitelpunkte und die Beobachtung seiner Durchgangszeit durch den Meridian, zugleich ergeben. Diese Vereinigung bringt grosse Vortheile hervor, bei deren näherer Erläuterung ich jedoch hier nicht verweilen darf. — Indessen hat sich in die jetzige Astronomie etwas Neues eingeführt, was ich nicht schweigend übergehen darf. Da Alles was Menschenhände machen können unvollkommen ist; die geschärftesten Sinne also ihre Grenze haben, und nie mehr erlangt werden kann als die Verengung derselben, so können auch alle Instrumente nur Annäherungen an die mathematische Idee, welcher gemäss sie gemacht worden sind, gewähren. Der, der sie anwendet, erlangt, seine Kunst und sein Fleiss mögen so weit getrieben werden wie man will, immer nicht mehr als ein Resultat, welches richtig ist, wenn die mathematische Idee seines Hülfsmittels wirklich erfüllt ist. Dieses kann, wie ich eben schon bemerkt habe, nie der Fall werden; der Astronom kann aber weder Freude an seinen Resultaten haben, noch Nutzen davon erwarten, wenn er keine Mittel besitzt, sie von dem wenn zu befreien. Aus dieser Ansicht der Sache ist die Aufsuchung

solcher Mittel hervorgegangen, und man ist wirklich dahin gelangt, sämmtliche Forderungen, welche ein Instrument erfüllen soll, solchen Prüfungen zu unterwerfen, dass die Unvollkommenheit ihrer wirklichen Erfüllung so daraus hervorgeht, dass man die unmittelbare Angabe des Instruments von ihr befreien kann, also das Resultat so erhält als wäre das Instrument ein vollkommenes. Hierdurch wird jedes vorhandene Instrument gänzlich aus dem Resultate geschafft; seine Genauigkeit ist nicht mehr Bedingung des Erfolges; in ihre Stelle tritt die Forderung der Festigkeit des Instruments, welche zur Folge haben soll, dass die Resultate seiner Untersuchung, welche man einmal erlangt hat, unverändert bestehen. Jedes Instrument wird auf diese Art zweimal gemacht, einmal in der Werkstatt des Künstlers von Messing und Stahl; zum zweitenmale aber von dem Astronomen auf seinem Papiere, durch die Register der nöthigen Verbesserungen, welche er durch seine Untersuchung erlangt. — Will man, in der heutigen beobachtenden Astronomie, einen wesentlichen Unterschied von der Bradley'chen sehen, so muss es dieser sein; den Ersatz des Quadranten und des Mittagsfernrohrs durch ein Instrument, den Meridiankreis, erkenne ich zwar auch für eine willkommene Verbesserung, aber sie betrifft mehr das Einzelne.

Wir haben unser eiliges Durchlaufen der Sternwarten der verschiedenen Zeiten jetzt beendigt; unsere flüchtigen Blicke haben wir nur auf das geworfen, was mit ihrem Hauptzweck in unmittelbarer Verbindung

steht. Wir finden aber auch noch viel Anderes auf den Sternwarten; auf den neueren vielen Hülfs-Apparat, welcher jenen Zweck auf die eine oder andere Art unterstützt; auch Instrumente, welche besonderer Beobachtungsgegenstände wegen verfertigt worden sind, dergleichen das, im vorigen Jahre, an diesem Orte besprochene Heliometer der hiesigen Sternwarte ist. Auf älteren Sternwarten werden uns auch wohl Ueberbleibsel früherer Zeit gezeigt, welche vermehrter Einsicht und fortgeschrittener Kunst längst haben weichen müssen, dennoch aber vorzugsweise von dem Vorzeigenden durch Lüftung seines Käppchens begrüsst werden; anderes dient zur Erläuterung astronomischer Systeme; wieder anderes gehört noch weniger auf eine Sternwarte, indem es keinen anderen Zweck gehabt haben kann, als ein mystisches Halbdunkel über die ehrlichen Astronomen zu verbreiten. Die drei letzteren Artikel findet man auf der hiesigen Sternwarte nicht. Will man aber das Ansehen der astronomischen Apparate aller Zeiten kennen lernen, so muss man die 9 Etagen des zur Sternwarte eingerichteten Thurms auf dem ehemaligen Jesuiten-Collegio in Prag durchsteigen, wodurch man von der ältesten Zeit bis in die gegenwärtige gelangt, jedoch im neunten Himmel nicht so viel Bemerkenswerthes findet, als auf der Erde in Königsberg.

Was ich von der wachsenden Vervollkommnung der Sternwarten angeführt habe, beabsichtigt die Beschaffenheit der vorhandenen Beobachtungsreihen der Planeten in verschiedenen Zeiten anzudeuten. Aus

der vor-tychonischen Periode besitzen wir 2000 Jahre alte, aber sehr rohe Beobachtungen; die Tychonische liefert uns drittehalbhundert Jahre alte, schon beträchtlich verbesserte; die Flamsteedsche liefert uns noch genauere, 150 Jahre zurückgehende; seit Bradley's Anfange endlich sind 90 Jahre verflossen. Man würde aber irren, wenn man diese verschiedenen Perioden ganz von Beobachtungen ausgefüllt annehmen wollte. Von der ältesten ist es nicht zu erwarten, weil Rom und das Mittelalter in ihren Grenzen sind; nach Tycho de Brahe finden wir wohl die von ihm eingeführte Form, aber bis auf Hevel, welcher die Periode schloss, keine anhaltenden Beobachtungen mehr; Flamsteed steht in seiner Periode wieder ohne Nachfolger, obgleich darin ein vortrefflicher Astronom Edmund Halley blühete. Selbst die 90 Jahre der jetzigen Periode liefern nicht was sie liefern sollten. Ich habe schon angeführt, dass 48 Jahre lang, nach Bradley's Tode, die Sternwarte in Greenwich genau in dem Zustande blieb, in welchem er sie verlassen hatte. Während dieser ganzen Zeit war Maskelyne der Verwalter der reichen Erbschaft. Er hat sie ziemlich fleissig, immer mit Aufmerksamkeit und dem Wunsche, Alles recht genau zu machen, angewandt; auch liegen drei Folianten gedruckter Beobachtungen vor. — Das erscheint wie eine Verlängerung von Bradley's Leben um 48 Jahre! — aber es ist nichts weniger als diese; das Vorhandensein aller äusseren Erfordernisse liegt am Tage, aber Bradley's Geist war aus ihnen gewichen!

Maskelyne hat allerdings einen Zweck verfolgt, aber dieser war das Beobachten selbst, nicht die Astronomie, wozu es führen soll. Hätte er diese verfolgt, so würde er unfehlbar bemerkt haben, wo es seinen Beobachtungen gebrach, und dann hätte er ihren Schaden geheilt. So wie seine Beobachtungen sind, haben sie keine eigene, innere Haltbarkeit; man kann sie nur benutzen, wenn man gewisse Bestimmungen, welche sie selbst liefern sollten, für die Bradleysche und für unsere jetzige Zeit, aus anderen Beobachtungen ableitet, und, von diesen ausgehend, die Resultate der Maskelyne'schen Beobachtungen sucht; selbst dadurch erlangen sie aber nicht vollen, sondern nur untergeordneten Werth. — Jede der Perioden der Astronomie zeigt also eine unverkennbare Gleichheit ihres Ganges: sie wird glänzend eröffnet, aber der Sinn ihres Begründers geht mit ihm verloren; er wird erst von einem Späteren verstanden, der Kraft und Mittel besitzt den Vorgänger zu verdunkeln. Dieses ist der Typus der Geschichte der Wissenschaften im Allgemeinen; die Astronomie hat keine besondere Ursache zur Klage.

Man muss sich also die vorhandene Beobachtungsreihe eines Planeten, nicht als ununterbrochen fortgehend vorstellen, sondern als aus mehreren, der Zeit nach voneinander getrennten Theilen bestehend. Diese Theile haben sehr verschiedene Werthe für die Astronomie, welche von der Genauigkeit der einzelnen in ihnen enthaltenen Beobachtungen und ihrer Anzahl abhängen. Im Allgemeinen schreiten sie in

beiden Beziehungen zugleich vorwärts; so wie die Genauigkeit der Hülfsmittel und die Vollendung der Methoden wachsen, sehen wir auch die Beobachtungen zahlreicher werden, obgleich man vielleicht das Gegentheil erwarten sollte, indem zu einer gleich guten Bestimmung offenbar eine grössere Zahl unvollkommener, als vollkommenerer Beobachtungen erfordert wird, also die älteren Astronomen durch die Zahl hätten ersetzen sollen, was der Genauigkeit gebrach. Aber diese scheinbare Inconsequenz ist leicht zu erklären: einerseits wachsen die Forderungen in demselben Masse, in welchem die Kräfte zu ihrer Befriedigung sich vermehren; andererseits regt grösserer Erfolg jederzeit zu grösserer Anstrengung auf. —

Indessen hängt der Werth, welchen eine Beobachtungsreihe besitzt, nicht allein von der Verbindung der Genauigkeit der dazu angewandten Hülfsmittel und Methoden, mit dem in ihrer Anwendung bewiesenen Fleisse ab, sondern eben so wesentlich von der Kenntniss gewisser, zu ihrer Berechnung erforderlicher Elemente, welche durch abgesonderte Untersuchungen erlangt werden muss. Es ist noch ein grosser Zwischenraum zwischen der Zeile des Tagebuches der Sternwarte, welche die sich auf einen Durchgang eines Planeten durch den Meridian beziehenden, von der Uhr und dem Meridiankreise abgelesenen Zahlen enthält, und seiner Geradenaufsteigung und Abweichung, welche das Resultat der Beobachtung sein sollen. Die Ausfüllung dieses Zwischenraumes ist das Ziel vielseitiger und ange-

strengter Bemühungen gewesen, und erst in der neueren Zeit ist es gelungen, sie so zu vollenden, dass sie, wenigstens für den jetzigen Zustand der Sache, genügt. Ich muss ein Paar Momente hervorheben, um die Entwickelung der Verbindung der Beobachtungen mit der Astronomie, nicht in einem wichtigen Theile zu unterbrechen. Es ist bekannt, dass alle Gestirne höher, oder dem Scheitelpunkte näher erscheinen, als sie wirklich sind; die strahlenbrechende Kraft unserer Atmosphäre erzeugt diese astronomische Strahlenbrechung, welche offenbar bekannt sein muss, ehe man von der Beobachtung eines Gestirns zur Kenntniss seiner Abweichung gelangen kann; denn diese Beobachtung betrifft unmittelbar das nicht an seinem wahren Orte erscheinende Gestirn. Man muss ihre allgemeine Theorie kennen, das Gesetz, nach welchem ihre Veränderung von dem Scheitelpunkte, wo sie verschwindet, bis zu dem Horizonte, wo sie einen halben Grad übersteigt, fortschreitet; dann muss man die in dieser Theorie enthaltenen willkürlichen Grössen, durch Beobachtungen, erkennen und bestimmen, und endlich muss man, aus der Verbindung beider, Regeln ableiten, wonach man die Grösse der Strahlenbrechung in jedem besonderen Falle, also für jede beobachtete Entfernung eines Sterns vom Scheitelpunkte und für den zur Zeit der Beobachtung stattfindenden Zustand der Luft, so wie die meteorologischen Instrumente ihn angeben, berechnen kann. Diese Regeln müssen das was sie geben sollen, mit grosser Genauigkeit geben, weil ein Fehler unmittelbar auf das Resultat der Beobachtung

übergeht und dieses um seine ganze Grösse entstellt. Wenn man diese Forderung aufmerksam betrachtet, so bemerkt man leicht, dass sie eben so schwer zu erfüllen, als leicht auszusprechen ist. Das Gesetz der Strahlenbrechung hängt wesentlich von dem Gesetze ab, nach welchem die Dichtigkeit der übereinander-liegenden Schichten der Luft sich ändert: von einem Gesetze, dessen Hervortreten wir nur in den niedrigeren, uns zugänglichen Schichten beobachten können und wovon wir überdies wissen, dass es Veränderungen erfahren muss, zu deren Erkenntniss uns die Mittel fehlen. Die aus der nicht zu beseitigenden Unvollkommenheit der Kenntniss der jedesmaligen Constitution der Atmosphäre hervorgehende wesentliche Schwierigkeit verbindet sich mit einer anderen, welche sich in der mathematischen Entwickelung der Theorie der Strahlenbrechung aus jeder Annahme des Gesetzes der Luftschichte zeigt; diese letztere würde ich, da sie, nach vielen vergeblichen Anstrengungen, am Anfange dieses Jahrhunderts, endlich überwunden ist, hier nicht erwähnen dürfen, wenn es nicht nöthig wäre, ein unerwartetes, dadurch erlangtes Resultat namhaft zu machen, welches wichtig ist, indem es über die erste, in der Natur selbst begründete Schwierigkeit glücklich hinweggeführt hat: es hat nämlich bewiesen werden können, dass, vom Scheitelpunkte bis zu einer Höhe von wenigen Graden über dem Horizonte, der Fortgang der Strahlenbrechung so gut wie unabhängig ist, von dem Gesetze der Aufeinanderfolge der Luftschichten; so dass sie, mit Ausnahme

eines kleinen Theils des Himmels, sich nur nach der Dichte der Luft richtet, welche die meteorologischen Instrumente an dem Beobachtungsorte angeben. Der Theil des Himmels, welcher hiervon ausgenommen ist, hat aber für die Astronomen geringe Bedeutung, indem in der Nähe des Horizonts die Gestirne so undeutlich erscheinen, dass ihre Beobachtung dort ohnehin vermieden werden muss. Da solchergestalt die allgemeine Theorie der Strahlenbrechung in Ordnung gebracht werden konnte, so konnte man auch zu ihrer besonderen übergehen, indem man zweckmässig angeordnete Beobachtungsreihen verfolgte, um dadurch zur Kenntniss der Werthe der in jener enthaltenen willkürlichen Grössen zu gelangen.

So wie die Strahlenbrechung zwischen die unmittelbare Beobachtung eines Gestirns und die Bestimmung seiner Abweichung tritt, so tritt auch Etwas, nicht minder wesentlich, zwischen die erstere und die Bestimmung seiner Geradenaufsteigung. Man muss sich erinnern, dass die Vergleichung der Durchgangszeiten zweier Gestirne durch den Meridian, nur den Unterschied ihrer Geradenaufsteigungen bestimmen kann, nicht die Geradeaufsteigung selbst; um diese für eins der beiden Gestirne zu erfahren, muss man sie, für das andere, durch eine besondere Untersuchung schon erkannt haben. Es ist also nothwendig, wenigstens von einem Sterne am Himmel, die Geradeaufsteigung selbst zu bestimmen; allein man hat, mit Recht, vorgezogen, sie statt von einem Sterne, von einer grösseren Anzahl, von 36 der helleren

Sterne, zugleich zu suchen. Diese 36 nennt man Fundamentalsterne und ihre Geradenaufsteigungen sind die, von welchen man, durch unmittelbare Beobachtung, zu denen aller übrigen Gestirne übergeht. — Indem die Geradeaufsteigung eines Sterns der Winkel am Pole der Himmelskugel, zwischen ihm und dem Frühlingsnachtgleichenpunkte ist, so setzt ihre Bestimmung die Kenntniss des letzteren voraus, des Punktes also, wo die Bewegungslinie der Sonne am Himmel, den Aequator durchschneidet. Da er nicht physisch, sondern nur durch diese Erklärung vorhanden ist, so leuchtet ein, dass er nur durch eine fortgesetzte Verfolgung der Sonne durch Beobachtungen erkannt werden kann; deren letztes Resultat in den Geradenaufsteigungen der Fundamentalsterne hervortritt.

Diese Geradenaufsteigungen sind also die unumgängliche Grundlage aller übrigen, durch astronomische Beobachtungen zu bestimmenden; so wie die Kenntniss der Strahlenbrechung die unumgängliche Grundlage aller Abweichungen ist. Nicht allein die Untersuchung beider stellt sich zwischen die Beobachtungen selbst und die daraus hervorgehenden Oerter der Gestirne; sondern noch einiges Andere tritt dazwischen; aber ich darf hier nicht länger verweilen, sondern es muss mir genügen, gezeigt zu haben, dass die Beobachtung eines Gestirns, so wie sie von den Instrumenten abgelesen wird, keinesweges das ist, was man über den Ort des Gestirns zu wissen verlangt, sondern nur das rohe Material dazu, welches

erst durch vielfältige Bearbeitung anwendbar gemacht werden kann. Auch hierüber würde ich schweigend hinweggegangen sein, wenn es mir nicht nothwendig gewesen wäre, klar zu machen, dass die Bestimmung des Ortes eines Gestirns durch seine Beobachtung, zwei ganz voneinander getrennte Theile besitzt, nämlich die Beobachtung selbst, und ferner die Bestimmung der Strahlenbrechung, der Geradenaufsteigungen der Fundamentalsterne u. s. w., welchen zweiten Theil man in der Benennung Fundamente der Astronomie zusammenfasst. Es geht daraus hervor, dass die Genauigkeit der Beobachtungen, für sich selbst, erst wenn sie mit einer entsprechenden Genauigkeit der Bestimmung dieser Fundamente zusammentrifft, die genügende Auflösung der Aufgabe „den Ort eines Gestirns am Himmel zu bestimmen“ ergeben kann. Hätte man z. B. eine Reihe sehr genauer Beobachtungen, aber eine mangelhafte Kenntniss der Fundamente, so würde das Zeugniss, welches sie ablegen, hierdurch wesentlich geschwächt werden.

Diesen Gesichtspunkt für die Beurtheilung des jetzigen Werthes der Beobachtungen aller Zeiten, wollte und musste ich erreichen. Dass er der richtige ist, glaube ich überzeugend dargethan zu haben; dennoch muss ich eingestehen, dass die Astronomen ihn nicht immer sorgfältig genug gehalten haben; dass man viele beträchtliche Arbeiten antrifft, welche auf Beobachtungen gegründet worden sind, ohne dass man sich um die gleich nothwendigen Fundamente der Astronomie gekümmert, und mehr gethan hätte, als

sie geradezu so anzunehmen, wie sie aus älteren Untersuchungen hervorgegangen waren. Die Folge hiervon konnte keine andere sein, als ein Gebäude, welches der Haltbarkeit entbehrte. — Wollte man ihm Dauer geben, so musste man nicht Arbeit verschwenden, um einzelne Risse auszubessern, sondern man musste sich nicht scheuen, bis zu seiner Grundlage selbst zurückzugehen.

Eine im Jahre 1818 beendigte vollständige Untersuchung der Beobachtungsreihe Bradley's gewährte die genügende Festsetzung der Fundamente der Astronomie, wie sie im Jahre 1755 waren. Die hiesigen Beobachtungen wurden so angeordnet, dass sie dieselbe Festsetzung für das Jahr 1825 ergeben konnten. Durch diese Resultate beider Beobachtungsreihen zusammengenommen, erlangte man die Kenntniss der Veränderungen, welche diese Fundamente im Verlaufe der Zeit erfahren; und darauf gründete man Berechnungen, welche von Bradley's Zeit, von 1750 an, bis zum Jahre 1850, alles das in der zur häufigen Anwendung geeigneten Form angeben, was zu der Verwandelung der in dieser Zeit gemachten Beobachtungen in Geradeaufsteigungen und Abweichungen erforderlich ist. — Nach diesen Vorbereitungen und erst nach ihnen, kann man dahin gelangen, die seit 1750 gemachten Planetenbeobachtungen, zu ihren wahren Resultaten zu verarbeiten, um ihre, in der ursprünglichen Gestalt unübersehbare, grosse Masse in eine weit kleinere Anzahl von Hauptmomenten zusammenzuziehen, welche fortan jene unübersehbare

Masse vertreten und die einzige Quelle sein müssen, woraus die Astronomie, insofern sie die Kenntniss der Bewegungen der Planeten von 1750 bis jetzt verlangt, zu schöpfen hat.

Wir wollen nun die Beobachtungen dieser Periode zuerst als allein vorhanden annehmen, zu den früheren aber später zurückkehren. Wir wollen sie in die eben angedeutete, die leichteste und dennoch vollständige Uebersicht über sie gewährende Form gebracht, also etwa für jedes Jahr eine Bestimmung der Geradenaufsteigung und Abweichung eines Planeten aus seinen sämmtlichen Beobachtungen dieses Jahres abgeleitet, annehmen. Hierdurch besitzt man 60 bis 90 von dem Himmel selbst hergenommene Oerter jedes Planeten; und dieser Besitz ist das Vermögen der Astronomie, wovon sie nun Anwendung zu machen hat.

Will man, nachdem man diesen Besitz erlangt hat, untersuchen, in wiefern eine vorhandene Theorie des Planeten, seiner wirklichen Bewegung entspricht, so geschieht dieses dadurch, dass man aus ihr seine Oerter, für dieselben Zeitmomente, für welche die aus den Beobachtungen abgeleiteten gelten, berechnet und sie mit diesen vergleicht. Giebt diese Vergleichung in keinem einzigen Falle einen so grossen Unterschied, dass man ihn nicht den kleinen, unvermeidlichen Unvollkommenheiten der Beobachtungen selbst zuschreiben könnte, so beweisen diese offenbar nichts gegen die Richtigkeit der vorhandenen Theorie, welche demnach den Forderungen der Astronomie für jetzt genügt, und erst in späterer Zeit weiter verfeinert werden

kann, wenn die Fortsetzung der Bewegung Unterschiede zwischen ihr und der Beobachtung entstehen lassen wird. — Zeigt dagegen die Vergleichung der seit 1750 beobachteten Oerter des Planeten, mit den aus der vorhandenen Theorie berechneten, Unterschiede, welche grösser sind als die möglichen Unvollkommenheiten der ersteren, so geht daraus offenbar hervor, dass die letztere noch ungenügend ist: dann tritt also die Forderung hervor, sie zu verbessern. — Ich habe, am Anfange meiner Vorlesung, darzustellen versucht, dass der Uebergang von einer bekannten und vollständigen allgemeinen Theorie der Bewegung der Planeten, zu der besonderen eines jeden von ihnen, ein directer ist; demzufolge beginnt die Verbesserung einer, sich durch ihre vorgenommene Vergleichung mit den Beobachtungen als unvollkommen erweisenden Theorie, mit dem Versuche, die Elemente, durch deren bestimmte Annahme die allgemeine zu der besonderen geworden ist, so zu änderen, dass dadurch den aus den Beobachtungen gefolgerten Oertern des Planeten Genüge geleistet wird. Gelingt dieser Versuch, so ist damit nicht allein die Forderung der Astronomie befriedigt, indem die Bewegung des Planeten nun allen vorhandenen Thatsachen angemessen wird, sondern es wird auch dadurch klar, dass die zum Grunde gelegte allgemeine Theorie von diesen Thatsachen keinen Widerspruch erfährt. Gelingt er aber nicht, endigt er sich also mit der Ueberzeugung, dass kein Werth der Elemente die Theorie zur Uebereinstimmung mit den Beobachtungen bringen

kann, so wird dadurch ein entscheidendes Veto gegen die allgemeine Theorie ausgesprochen.

Nun hat ein grosser Meister, an mehreren Stellen seiner unsterblichen Werke gesagt, dass die Newtonsche Anziehung, wenn ihre Folgen nur mit der gehörigen Vollständigkeit entwickelt werden, allen Beobachtungen der Planeten völlig entspreche; oder, mit anderen Worten, dass die darauf gebauete allgemeine Theorie dieser Körper, in die besondere eines jeden von ihnen verwandelt werden könne, so dass diese nichts mehr zu wünschen übrig lasse. Dieser grosse Meister war Laplace, und nicht etwa war seine Aeusserung ein Nachklang der allgemeinen Ansicht, sondern sie war aus seinen eigenen Arbeiten hervorgegangen, welche, ihrem bei weitem grössten Theile nach, jene Entwickelung zum Zwecke hatten, und durch ihre häufigen Erfolge in der Aufklärung der allerverstecktesten und vorher räthselhaftesten Eigenthümlichkeiten der Bewegungen im Sonnensysteme, die Erwartung rechtfertigten, dass Alles sich der stets siegreichen Lehre von der Anziehung fügen werde. Wirklich sind die Bestätigungen, welche diese Lehre, nicht allein in der Art der Bewegung der Himmelskörper im Ganzen, also in den aus den Beobachtungen gefolgerten Kepler'schen Gesetzen, sondern auch in zahllosen secundären Erscheinungen erhalten hat, nach und nach so vollständig geworden, dass jeder bisher dagegen geäusserte Zweifel, an unabweislichen Thatsachen gescheitert ist. — Indessen ist die Aeusserung von Laplace ein unmittelbares Zeugniss; ein Zeugniss

in einer Sache, welche geradezu die wichtigste von allen ist, die je vor den Richterstuhl des menschlichen Verstandes gelangt sind. Unabhängig von jeder Meinung müssen wir dieses Zeugniss beleuchten, und dazu werden wir, nach dem Vorhergehenden, im Stande sein.

Laplace hatte zwei französische Astronomen, Delambre und Bouvard aufgefordert, seine allgemeinen Theorien der Bewegungen der Planeten, auf die Erde, den Jupiter, den Saturn und den Uranus anzuwenden, also danach die besonderen Theorien dieser Planeten zu construiren und diese dann mit der ganzen, mit Bradley anfangenden Reihe ihrer Beobachtungen zu vergleichen. Diese Aufforderung hatte Arbeiten zur Folge, welche im Jahre 1821 beendigt wurden. Delambre hatte seine Theorie der Bewegung der Erde schon früher bekannt gemacht; in dem genannten Jahre lieferte Bouvard die Theorien der drei anderen angeführten Planeten, und dabei die Register ihrer Vergleichung mit den Beobachtungen, worauf es hier allein ankömmt. Diese zeigen allerdings eine weit grössere Uebereinstimmung, als die war, welche ältere, auf weniger genaue Beobachtungen gegründete, und von einer weniger vollständig entwickelten allgemeinen Theorie ausgehende, besondere Theorien gewährt hatten. Die noch übrig bleibenden Unterschiede zwischen ihnen und den Beobachtungen, hatte man kein Bedenken, den letzteren zuzuschreiben, und damit hielt Laplace sein Zeugniss destomehr für gerechtfertigt, als auch die Entwickelung

der Theorie des Mondes ein ähnliches Resultat ergeben hatte.

Wenn man indessen die Register der Vergleichungen aufmerksam betrachtet, so sieht man darin häufig Unterschiede, welche freilich nicht, wie früher, bis auf ganze Minuten, aber doch bis auf 10 Secunden und darüber steigen, und dadurch beträchtlich über die Grenze des Fehlers hinausgehen, welche man den Beobachtungen der jetzigen Periode der Astronomie, vorausgesetzt, dass sie durch die Anwendung genügend bestimmter Fundamente in Geradeaufsteigungen und Abweichungen verwandelt worden sind, zuschreiben kann. Um diese Fundamente hatten sich aber Delambre und Bouvard nicht weiter gekümmert, sondern ihre gründlichere Untersuchung wurde erst später, von einer anderen Seite geschlossen. Die Unterschiede, welche ich eben als anstössig bezeichnet habe, können also aus dieser Quelle entspringen, worüber man jedoch nicht eher bestimmt urtheilen kann, als bis die Arbeit über sämmtliche Beobachtungen der Planeten vollendet sein wird, welche ich oben als wesentlich angegeben habe. So wie die Sache im Jahre 1821 stand, und bis zur Vollendung dieser Arbeit stehen wird, ist man also wirklich nicht im Stande, das Zeugniss der Beobachtungen als ein unzweideutiges zu betrachten.

In dem Falle eines der genannten Planeten, des Uranus, welcher bekanntlich im Jahre 1781 von Herschel entdeckt wurde, hat sich eine Erscheinung gezeigt, welche ich zu den merkwürdigsten zähle, welche die Astronomie dargeboten hat. Bouvard

hat nicht minder für diesen Planeten, als für die beiden anderen, eine besondere Theorie finden können, welche seinen Beobachtungen von 1781 bis 1821 in dem schon bezeichneten Masse entspricht; womit man also, wenn auch nicht unbedingt, doch bis zu der Vollendung der besprochenen neuen Bearbeitung der Planetenbeobachtungen, zufrieden sein könnte, wenn ausser diesen 40jährigen Beobachtungen keine vorhanden wären. Allein der Planet ist vor der Epoche seiner Entdeckung, von 1690 an, von Flamsteed, Tobias Mayer, Bradley und Lemonnier volle 20 Mal für einen Fixstern angesehen und als solcher beobachtet worden; und auch jedes der 18 Jahre von 1821 bis jetzt hat seinen Beitrag zu den Beobachtungen geliefert. Bouvard kannte schon den grössten Theil der älteren Beobachtungen und unterliess nicht, seine Theorie auch damit zu vergleichen, fand aber unerwartet grosse Unterschiede. Nach meiner Meinung nahm er diese viel zu leicht, indem er, nachdem es ihm nicht gelungen war, die Theorie zugleich an sie und die späteren 40jährigen Beobachtungen anzuschliessen, sich mit der Aeusserung beruhigte, die älteren Beobachtungen seien nicht so genau als die neueren. — Ich habe sie einer schärferen Kritik und einer neuen Berechnung unterworfen, und dadurch die volle Ueberzeugung erlangt, dass die vorhandenen Unterschiede, welche einigemale bis über eine ganze Minute steigen, keineswegës den Beobachtungen zuzuschreiben sind. Auch haben sich, seit 1821 wieder neue Unterschiede gefunden und von Jahr zu Jahr vergrössert, so dass sie

gegenwärtig wieder mehr als eine Minute betragen und bald, indem sie im schnellen Wachsen sind, noch beträchtlich höher gestiegen sein werden. Ein Versuch, die Theorie des Planeten, durch Verbesserung der Werthe ihrer Elemente, sämmtlichen Beobachtungen anzuschliessen, ist ohne Erfolg durchgeführt worden; eine neue Entwickelung seiner allgemeinen Theorie, durch welche eine etwanige Unvollständigkeit, oder ein zufälliger Jrrthum in der Laplace'schen, entdeckt werden sollte, hat gleichfalls keinen Aufschluss gegeben. Aus allen diesen Untersuchungen ist nur die volle Ueberzeugung hervorgegangen, dass wir in dem Uranus einen Fall besitzen, auf welchen der Laplacesche Ausspruch sicher nicht anwendbar ist: hier handelt es sich nicht um kleine, sich unter den Unvollkommenheiten der Beobachtungen fast verbergende Unterschiede, sondern um sehr grosse, diese Unvollkommenheiten sehr weit überschreitende; auch nicht um solche, welche durch Vervollständigung der Entwickelung der Anziehungen der bekannten übrigen Planeten, beseitigt werden könnten. Es handelt sich also um Unterschiede, welche nur in einer neuen physischen Entdeckung ihre Erklärung finden können.

Man muss nicht etwa glauben, dass dieser merkwürdige Fall, gegen die Anziehungslehre selbst stritte; vielmehr wird jeder Zweifel dagegen unstatthaft sein, d. h. sich in Widerspruch mit Thatsachen setzen lassen; wenigstens ist die letzte der bis jetzt aufgefundenen mathematischen Möglichkeiten einer Abweichung dieser Lehre von der Wahrheit, gerade durch die Ver-

anlassung, von welcher ich jetzt rede, zur Erörterung gelangt, hat aber nicht minder abgewiesen werden müssen, als alle schon früher zur Sprache gebrachten. Wahrscheinlich wird gerade die Lehre von der Anziehung den hier berührten Fall endlich erklären, indem sie zugleich eine Entdeckung im Sonnensysteme ergeben wird. Fernere Versuche der Erklärung werden nämlich die Absicht verfolgen, einem unbekannten Planeten jenseits des Uranus, der vielleicht wegen zu grosser Lichtschwäche nicht sichtbar ist, eine Bahn und eine Masse anzuweisen, welche so beschaffen sind, dass daraus Störungen des Uranus hervorgehen, welche die jetzt nicht vorhandene Uebereinstimmung seiner Beobachtungen herstellen. Kann man die Bewegung des Uranus wirklich auf diese Art erklären, so wird der Verlauf der Zeit diese Erklärung auch zur Evidenz erheben, in demselben Masse, in welchem er die Einflüsse der neuen Ursache zu Tage legen wird; auch muss dieselbe Ursache Einflüsse auf die Bewegung des Nachbarplaneten des Uranus, nämlich des Saturn, äussern, welche zwar viel kleiner sind, jedoch sich einer, besonders auf sie gerichteten Untersuchung wahrscheinlich nicht entziehen, und dann eine von dem Entdeckungsmittel unabhängige Bestätigung des Daseins des neuen Planeten ergeben werden. —

Ich habe dieses angeführt, obgleich der neue Planet noch keineswegs entdeckt ist, und man doch vernünftigerweise nicht eher an ihn glauben soll, als bis man sein Dasein beweisen kann — ich habe dieses

angeführt, sage ich, um Sie auf den Reichthum aufmerksam zu machen, welcher unter den astronomischen Beobachtungen nicht nur verborgen gewesen ist, sondern auch noch verborgen ist. Aber die Ader gediegenen Goldes, die ihn enthält, liegt tief; an dem zu ihr führenden Schachte muss jahrelang gesprengt und losgeschlagen werden, ehe er bis zu ihr gelangt; was, während dieser Zeit, der Schweiss des Arbeiters, weit unter dem Bereiche der Blicke von oben, ablösst, ist taubes Gestein und armes Erz, durch dessen Verschmelzung vor Erreichung der Ader, er spärlich gelohnt wird. — Jetzt aber die Moral meines Gleichnisses! — das taube Gestein und das arme Erz sind die unmittelbar von den Instrumenten abgelesenen Zahlen; der tiefe Schacht ist die Arbeit, welche die oben von mir geforderte folgerechte und vollständige Verwandlung aller Beobachtungen der Sonne und der Planeten, welche seit 1750 gemacht worden sind, in ihre conciseste Form, verlangt; der spärliche Lohn sind die Resultate, welche die Astronomie vor der Beendigung dieser Arbeit erlangen kann; die Goldader sind die Resultate, welche sie nach derselben erlangen wird; die Arbeiter sollen die Astronomen sein; die jahrelange Anstrengung ist buchstäblich zu verstehen.

Es sind jetzt 10 Jahre verstrichen, seitdem alle Mittel geliefert worden sind, wodurch die Arbeit an dem Schachte so leicht wie möglich, und ihr Erfolg sicher gemacht wird. Das Sprengen und Hämmern fing auch gleich an, und erklang an mehreren Orten

zugleich; aber die Bergleute verloren die Geduld, obgleich ihnen in England ein beträchtliches Tagelohn verheissen wurde. Nur einer hat sich durchgearbeitet, und dieses ist einer meiner hiesigen jungen Freunde, Flemming, dem ich, falls er hier gegenwärtig ist, ein Glückauf! zurufe. Die Beobachtungen des Uranus sind die, welche er bearbeitet hat. Ihre Resultate müssen nun bald zeigen, ob sie schon eine hinreichend feste Grundlage weiterer Aufklärungen sind, oder ob noch ein Jahrhundert sie durch seine Beobachtungen verstärken muss. — Wenn wir Aehnliches von allen Planeten besitzen werden, erst dann werden wir den Zustand der Astronomie des Sonnensystems genau erkennen; wir werden dann die Mittel besitzen, falls die allgemeine Theorie genügend ist, die besonderen Theorien aller Planeten den vorhandenen Thatsachen genau anzupassen; falls sie es nicht ist ihre Mängel an den Tag zu legen; wir werden eine Bahn eröffnet haben, auf welcher fortschreitend, die Astronomie sich ihrem letzten Ziele immer mehr näheren muss!

Nach dem Vorangegangenen ist es unnöthig, dass ich dieses weiter erläutere. Dagegen erlauben Sie mir noch einige Worte zur Angabe des gegenwärtigen Zustandes; Sie werden daraus sehen, dass seine Aenderung unumgänglich nothwendig ist. Hundert Folianten und Quartanten enthalten die Tagebücher verschiedener Sternwarten; ihre Zahl vermehrt sich jährlich. Die Beobachtungen sind darin, mit Recht, genau so verzeichnet, wie sie von den Instrumenten abgelesen sind; sind sie auch in Geradeaufsteigung

und Abweichung verwandelt, so kann man doch keinen Nutzen daraus ziehen, weil die Bestimmung der Fundamente, welche dazu hätte angewandt werden sollen, erst später gefunden ist. Man muss also, wenn man das Zeugniss der Beobachtungen über einen Planeten hören muss, eine längst schon fast unübersehbare, und sich jährlich vermehrende Arbeit übernehmen; worauf denn noch eine zweite, nicht minder beträchtliche, nämlich die Zusammenziehung der einzelnen Beobachtungen in gewisse Hauptmomente, folgen muss. Kurz es muss, in jedem einzelnen Falle genau das geschehen, was ich ein für allemal gefordert habe. Allein diese Arbeit ist Allen, die sich mit der Theorie der Planeten beschäftigt haben, viel zu gross erschienen, um sie vollständig auszuführen; sie haben einen kleinen Theil davon ausführen müssen, auch es damit nie so consequent und genau nehmen können, als doch nöthig gewesen wäre, um das vollständige und unentstellte Zeugniss der Beobachtungen zu erfahren. Die unvermeidliche Folge hiervon ist, dass man wirklich zu weit geht, wenn man von einem Zeugnisse der Beobachtungen spricht; Niemand kann angeben, worin es eigentlich besteht.

Werden dagegen alle jetzt vorhandenen Beobachtungen auf die besprochene Art verarbeitet, so erhält man dadurch die Früchte von ihnen, in so conciser Gestalt, dass sie für jeden Planeten nur ein Paar Octavseiten füllen. Diese enthalten unwandelbare Thatsachen, zu welchen die späteste Zeit noch zurückkehren muss; von Zeit zu Zeit werden sie Nachträge

erhalten, in jedem Jahre eine Zeile. Fortwährend wird das Verhalten der Theorien zu der Wahrheit, welche dadurch unverhüllt hervortreten wird, vor Augen liegen; und so wie sich eine Abweichung zeigt, wird sie den Versuch hervorrufen, sie durch eine Berichtigung der Theorie, welche den früheren, so wie den späteren Quellen ihr Recht erweiset, wegzuschaffen. So lange dieses möglich ist, ist kein Grund vorhanden, der allgemeinen Theorie zu misstrauen; aber ihr Nichtgenügen wird in demselben Augenblicke hervortreten, in welchem die Beobachtungen hinreichen, es an den Tag zu legen. — Die Astronomie wird fortschreiten und auch ihre ehrenvollste Aufgabe lösen, indem sie nach und nach alle Geheimnisse des Weltgebäudes enthüllet.

Ich habe noch Einiges über die Anwendung der Beobachtungen der früheren Perioden zu sagen, denn ich habe zuletzt nur von denen der gegenwärtigen gesprochen. Ich muss und werde eilen. Da diese Beobachtungen, obgleich ihre Genauigkeit sich von Periode zu Periode vermehrt hat, weit hinter den gegenwärtigen zurückbleiben, so ist zwar klar, dass ein aus ihnen gezogenes Resultat weit weniger Gewicht besitzt, als eins, welches man durch eine gleich grosse Anzahl neuerer Beobachtungen erlangen kann; allein der Werth, welchen die älteren für uns haben, wird nicht sowohl hierdurch, als durch das Verhältniss ihrer Genauigkeit zu ihrem Alter bestimmt. Eins der Elemente jedes Planeten, seine im Verhältnisse der Zeit fortschreitende Bewegung, deren genaue

Bestimmung vorzugsweise wichtig ist, wird z. B. durch die Vergleichung der jetzigen Beobachtungen mit 100 Jahre alten, sicherer bestimmt, als durch ihre Vergleichung mit 200 Jahre alten, wenn die Unsicherheit der ersteren weniger als die Hälfte der Unsicherheit der anderen ist. Schätzt man die Unsicherheiten der Alexandrinischen, Tychonischen und Flamsteed-schen Beobachtungen, resp. auf einen Viertelgrad, auf eine Minute, auf 10 Secunden, was ziemlich richtig sein mag, und nimmt man ihr Alter, von der Mitte der gegenwärtigen Periode angerechnet, zu 2000, 200 und 100 Jahren an, so erhält man die Unsicherheit der aus ihren Vergleichungen hervorgehenden Bestimmung der jährlichen Bewegung, mit ihrem Alter wachsend, nämlich aus den Flamsteed'schen um ein Zehntel einer Secunde, aus den Tychonischen drei, aus den Alexandrinischen fast fünf Zehntel. Es würde also sehr unzweckmässig sein, wenn man die Bewegungen der Planeten durch die Vergleichung der Alexandrinischen und der Tychonischen Beobachtungen mit den neueren bestimmen und die, obgleich weniger alten, Flamsteed'schen nicht vorziehen wollte. Aber ob selbst diese zu berücksichtigen sind, oder ob die Beobachtungen der gegenwärtigen Periode, für sich allein genommen, nicht ein noch genaueres Resultat verheissen, kann auf ähnliche Art untersucht werden. Gegenwärtig hat diese Periode eine Dauer von 90 Jahren erlangt; nimmt man die Unsicherheit, welche die Beobachtungen von der Genauigkeit der Bradley-

schen und der neueren, in der Bestimmung eines, aus mehreren von ihnen abgeleiteten Ortes eines Planeten übrig lassen, gewiss nicht zu klein, zu zwei Secunden an, und ferner das nachtheiligste Zusammentreffen dieser Unsicherheit am Anfange und am Ende, so kann die aus der Vergleichung des Ortes im Jahre 1750 mit dem Orte im Jahre 1840 hervorgehende Bewegung höchstens nur vier Secunden, und die jährliche höchstens nur $\frac{4}{90}$ Secunden, also noch nicht einmal halb so viel betragen, als die Unsicherheit, welche die Flamsteed'schen Beobachtungen übrig lassen. Es ist also auch unzweckmässig, selbst auf diese Beobachtungen die Bestimmung der Bewegungen der Planeten zu gründen. Dieses ist die Folge der bereits so lang gewordenen Dauer der gegenwärtigen Periode; vor 50 Jahren, als sie erst bis auf 40 Jahre angewachsen war, hätten die Vergleichungen der in ihr liegenden Beobachtungen eine eben so grosse Unsicherheit übrig gelassen, als ihre Vergleichungen mit den Flamsteed'schen; früher eine grössere.

Es ist übrigens allgemein in der Ordnung, dass Ueberlieferungen einer früheren Zeit, wenigstens wissenschaftliche, welche, nach den Verhältnissen ihrer Zeit beurtheilt, ausgezeichnet hervortreten, desto mehr von ihrem Werthe verlieren, je weiter die, andere Verhältnisse herbeiführende Zeit fortschreitet. Ich selbst kann noch bis dahin zurückdenken, wo mir Flamsteed's Tagebücher ein Schatz waren; jetzt würde es sehr verkehrt sein, wenn ich mich be-

streben wollte, seinen grösstentheils verschwundenen Werth, ferner als bestehend zu betrachten. — In Beziehung auf die Bewegungen im Sonnensysteme, haben die älteren Beobachtungen kaum noch ein anderes Interesse, als die Stufen zu sein, welche nach und nach zu den gegenwärtigen führten.

Gleichgewicht und Bewegung.

Die **Mechanik**, die Lehre vom Gleichgewichte und der Bewegung, beschäftigt sich mit der Ermittelung der Gesetze, welchen die Wirkungen der Kräfte folgen; derselben Gesetze, wonach die ganze physische Welt regiert wird. Diese Gesetze sind allgemein; sie werden tiefer im Inneren der Erde befolgt, als die Haue des Bergmanns, weiter in den Fernen des Himmels, als das Fernrohr des Astronomen zu dringen vermag; und nicht minder als in unergründlicher Tiefe und unerreichbarer Höhe, auf der Oberfläche, auf welcher wir leben. Das Staubkorn ist nicht zu klein, das Weltall nicht zu gross, um nicht der Wirkung von Kräften unterworfen zu sein, um nicht den Gesetzen unterworfen zu sein, welchen diese Wirkung folgt.

Das worüber ich sprechen werde, ist die **Philosophie der Natur**. **Newton** hat diese Benennung gebraucht, als es ihm gelungen war, zahlreiche Erscheinungen am Himmel und auf der Erde, durch die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung zu erklären; die fortgeschrittene Zeit hat sie fortschreitend

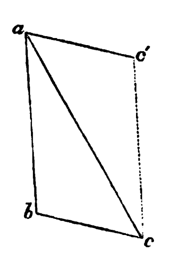
gerechtfertigt, indem sie jede über Ansicht hinausgehende Einsicht in die Natur, die sie geliefert hat, aus der Verfolgung der Wirkungen von Kräften geschöpft hat. Auf diese Art sind nicht allein die Bewegungen der Himmelskörper mit wachsender Vollständigkeit erklärt worden; sondern auch die Erscheinungen, welche das Licht gewährt; das Aufsteigen der Flüssigkeiten in engen Röhren und damit zusammenhangende Erscheinungen, auch in der organischen Natur; das Verhalten der elastischen Körper; die Wirkungen der Electricität; die Wirkungen des Magnetismus — kurz Alles was weiter bekannt geworden ist, als es durch unmittelbare Beobachtung bekannt werden konnte.

Eine Kraft ist die Ursache, aus der das Bestreben zweier Körper hervorgeht, sich einander zu nähern, oder voneinander zu entfernen. Ihr inneres Wesen ist uns verborgen, und wird verborgen bleiben, gleichwie der letzte Grund jeder Erscheinung; ihre Wirkungen aber offenbaren sich, und nur diese gehen die Philosophie der Natur an. Wenn ein freier, materieller Punkt, er mag im Zustande der Ruhe oder der Bewegung sein, ohne Aenderung dieses Zustandes bleibt, wenn er also keine Wirkung verräth, so giebt er auch keinen Anlass, an eine ändernde Ursache zu denken; wenn sich aber dieser Zustand ändert, wenn der Punkt aus der Ruhe in Bewegung, oder aus der Bewegung, die er besitzt, in eine veränderte übergeht, wenn er also, nach einer gewissen Zeit, sich nicht an dem Orte den der ungeänderte Zustand ihm anweisen

würde, sondern an einem anderen Orte befindet, so giebt er Anlass zu der Vorstellung einer Ursache der Verschiedenheit beider Oerter. Die Grösse dieser Ursache — die Kraft — kann der Grösse, welche die Entfernung der beiden Oerter eines freien, materiellen Punktes, in einer bestimmten Zeit, z. B. einer Secunde, durch sie erlangt, verhältnissmässig gesetzt werden; die Richtung von dem einen Orte nach dem anderen lehrt die Richtung kennen, in welcher sie gewirkt hat *). — Indem offenbar eine Grösse nur durch eine gleichartige, also eine Kraft nur durch eine Kraft gemessen werden kann, so ist unter Grösse einer Kraft, ihre Wirkung auf einen freien, materiellen Punkt, gemessen durch die ähnliche einer zur Einheit angenommenen Kraft, zu verstehen. Wird z. B. die Kraft, welche das Fallen der schweren Körper auf der Erde verursacht, zur Einheit angenommen, so ist eine andere Kraft = 2 wenn sie einen freien, materiellen Punkt, gleichzeitig doppelt so weit bewegt als jene; = 3 wenn dreimal so weit u. s. w.

Aus dieser Erklärung des mit dem Worte Kraft zu verbindenden Sinns geht hervor, dass der Ver-

---



*) Wenn der Punkt sich im Zustande der Bewegung befindet und dieser ihn, in der angenommenen Zeit von *a* nach *b* führen würde, während er wirklich von *a* nach *c* gelangt, so hat die Kraft ihn von *b* nach *c* getrieben. Wenn er dagegen, durch seine anfängliche Bewegung allein von *a* nach *b*, durch die Kraft allein von *a* nach *c'* gelangen würde, so gelangt er wirklich von *a* nach *c*, falls *b c* gleich und gleichlaufend *a c'* genommen wird.

folgung von Kräften veranlasster Erscheinungen durch Raisonnement, jede Speculation über die Natur der Ursache der darin sichtbar werdenden Wirkungen, genau so fremdartig ist, als die Kenntniss der Einheit einer Zahl, einer mit ihr auszuführenden Rechnung. Wenn z. B. Zahlen von Thalern, Pfunden, Fussen ... addirt werden sollen, so ist nichts überflüssiger dazu, als die Frage nach der Beschaffenheit eines Thalers, Pfundes, Fusses ...; die anzuwendende Rechnungsregel hat nur mit den Zahlen, nicht mit den Dingen, deren Menge dadurch beschrieben wird, zu thun. Die Metaphysik der Kräfte ist nicht weniger überflüssig zur Beurtheilung der aus Kräften hervorgehenden Erscheinungen. —

Aus der Erklärung des Worts geht ferner hervor, dass eine Kraft sich eben so von jeder anderen Kraft unterscheidet, wie eine gerade Linie von jeder anderen geraden Linie: in beiden Fällen sind Grösse und Richtung das Unterscheidende. So wie die Grösse einer geraden Linie durch ihr Verhältniss zu einem willkürlich zu wählenden Masse — dem Fusse, der Meile, dem Erdhalbmesser .... deutlich wird, eben so wird es die Grösse einer Kraft, durch ihr Verhältniss zu einer anderen, also durch das Verhältniss der Bewegungen, welche beide Kräfte einem freien, materiellen Punkte, während einer gleichen Zeit mittheilen. Offenbar bleibt die Wahl der Kraft, die als Mass anderer Kräfte genommen werden soll, willkürlich: sie kann die sein, die das Fallen der schweren Körper auf der Erde verursacht; die, womit die Sonne in der

Entfernung der Erde von ihr wirkt, oder irgend eine andere. Sobald die Bewegung, welche die zum Masse genommene Kraft, einem freien, materiellen Punkte, während einer gewissen Zeit, z. B. einer Secunde, mittheilt, durch Beobachtung bekannt geworden ist, wird jede andere Kraft durch sie gemessen, indem das Verhältniss ihrer ähnlichen Wirkung zu der vorigen als ihre Grösse betrachtet wird.

Nach dieser Erklärung über den Sinn des Wortes Kraft, kann man die Aufgabe kurz genug aussprechen, welche die Mechanik aufzulösen hat: sie soll von dem einfachsten Falle, von dem Falle der Bewegung eines freien, materiellen Punktes, also von dem Falle, von welchem die Erklärung der Kraft selbst hergenommen ist, auf die Wirkungen folgern, die in jedem Falle, in welchem sich Kräfte äussern, hervortreten.

Die Folgerungen der Mechanik sind mathematische, weil die Bestimmung der Grösse einer Kraft durch ihr Zahlenverhältniss zu einer anderen, zum Masse gewählten, sie zu einer Grösse macht, die erschöpfend durch Zahlen beschrieben werden kann; zu einer Grösse der Art, die ausschliesslich und immer Gegenstand der mathematischen Betrachtung wird. Es kann nicht meine Absicht sein, die lange Reihe von Schlüssen vorzuführen, welche von der einfachsten Aeusserung einer Kraft anfängt, und ihr Ende nur mit der Rechtfertigung der Behauptung gefunden hat, dass sie jede Aeusserung von Kräften, nicht minder in den zusammengesetztesten und schwierigsten Fällen, als in einfachen und leicht zu übersehenden, umschliesst. Aber

ich darf mich auch nicht begnügen, einige der auffallendsten Momente dieser langen Reihe auszuzeichnen, ohne vorher den Versuch gemacht zu haben, die Natur der Verkettung ihrer einzelnen Theile untereinander, anschaulich zu machen; ohne anzudeuten, wie so viele Theile, ohne Verwirrung, ohne Beeinträchtigung der Deutlichkeit der Einsicht in jeden Theil, bleiben können; ohne endlich mich zu bemühen, die Möglichkeit einer so kühn erscheinenden Behauptung zu erläutern, wie die war, dass die Mechanik die Wirkung von Kräften in jedem Falle zu bestimmen vermag.

Dieses Alles ist durch die neuere Mathematik möglich geworden, deren Wesen ich zu erläutern versuchen muss, um dadurch verständlich zu machen, auf welche Art sie, allenthalben wo sie Anwendung gefunden hat, zu unzweideutigen Wahrheiten hat führen können, die oft so weit von ihrem Ursprunge entfernt sind, dass sie menschlichem Verstande unerreichbar erscheinen, auch sicher nicht von ihm erreicht sein würden, wenn seine Kraft nicht durch die Kraft der Mathematik eine grosse Verstärkung erhalten hätte. — Ihre Kraft hat die neuere Mathematik durch die Kunst erlangt, jeden sich auf ein Grössenverhältniss beziehenden Begriff, jede von ihr verlangte Operation, jeden ihrer Schlüsse, nicht allein kurz und bestimmt, sondern auch erschöpfend, zu bezeichnen. Wenige Zeichen reichen hin, einen der Untersuchung zu unterwerfenden Gegenstand, in allen seinen Eigenthümlichkeiten, von allen anderen Gegenständen zu

unterscheiden; so dass jede ihn angehende Wahrheit, die offen am Tage liegende, wie die tiefverborgenste, in jenen Zeichen enthalten ist. Eine andere Anwendung derselben Zeichen, erforderlichenfalls in Verbindung mit einem oder einigen hinzukommenden, spricht jede dieser Wahrheiten, also jeden von der Eigenthümlichkeit des Gegenstandes ausgehenden Schluss, so erschöpfend aus, dass die ganze Reihe von näheren Schlüssen, die zu einem entfernteren geführt hat, nachdem dieser erreicht worden ist, gar nicht mehr beachtet werden darf; so dass er einem erworbenen Vermögen vergleichbar wird, dessen Besitz die Anwartschaft auf seine Vermehrung giebt, und dessen Verwendung mit den zu seiner Erwerbung angewandten Mitteln in keiner Verbindung ist. — Vielleicht gelingt es mir, das wovon ich rede, an einem Beispiele anschaulicher zu machen. Offenbar giebt es so viele, ihrer Form und Grösse nach verschiedene krumme Linien, als man sie nach verschiedenen Bedingungen ziehen will, also eine unzählbare Menge derselben. Die einfachste ist der Kreis, der entsteht, wenn ein Punkt um einen anderen festen Punkt so herumgeführt wird, dass beide gleiche Entfernung voneinander behalten. Andere krumme Linien, die sogenannten Kegelschnitte, entstehen, wenn ein Kegel durch eine Ebene durchschnitten wird, und zwar erhalten sie, je nach den verschiedenen Richtungen des Schnitts, verschiedene Formen und verschiedene Benennungen: Ellipse, Parabel, Hyperbel. Die erstere ist eine geschlossene krumme Linie, die wie ein, nach einer Richtung mehr oder weniger ver-

längerter Kreis angesehen werden kann, und durch jeden Schnitt erzeugt wird, der von dem ohne Ende fortgesetzt gedachten Kegel, einen seine Spitze enthaltenden Theil ganz abtrennt; sie verlängert sich destomehr, je weniger die schneidende Ebene nach der dem Anfangspunkte des Schnitts gegenüberliegenden Seite des Kegels hingeneigt wird. Sie verlängert sich ohne Ende, hört also auf geschlossen zu sein, wenn der Schnitt der gegenüberstehenden Seite gleichlaufend wird, in welchem Falle sie die Benennung Parabel annimmt. Jede noch mehr veränderte Lage der schneidenden Ebene, also jede sie von der gegenüberliegenden Seite des Kegels abwärts neigende und daher ebenfalls eine, mit ohne Ende fortgehenden Aesten versehene krumme Linie ergebende, erzeugt die dritte Art der Kegelschnitte, die Hyperbel. Ohne Vergleich viel mannichfaltiger als die sich in diesen einfachsten krummen Linien zeigenden Formverschiedenheiten, sind die aus weniger einfachen Entstehungsarten derselben hervorgehenden: oft krümmt sich eine Linie schlangenartig, oft zeigt sie mehrere geschlossene, entweder abgesonderte, zusammenhängende oder ineinanderverschränkte Theile, oft hat sie zahlreiche ohne Ende fortgehende Aeste, oft alles dieses zugleich. Aber wie auch eine krumme Linie aussehen mag, nie verschweigt die ihr zugehörige einfache Bezeichnung einen Punkt ihres Zuges. Diese Bezeichnung ist nicht etwa eine, für jede krumme Linie durch Uebereinkunft eingeführte, wie das Wort einer Sprache, dessen Bedeutung vor seiner Anwendung bekannt sein muss;

sie ist vielmehr der Buchstabenzusammenstellung vergleichbar, durch welche das Wort gegeben ist, seine Bedeutung mag bekannt oder unbekannt sein. So wie eine willkürliche Zusammenstellung von Buchstaben ausgesprochen werden kann, so kann auch die einer willkürlich gewählten Bezeichnung entsprechende krumme Linie vollständig angegeben werden; und es bleibt dabei gleichgültig, ob diese krumme Linie auch anderweitig, etwa durch ihre Entstehungsart, erklärt werden kann, oder nicht.

Die Ehre des grossen Schrittes von der älteren Mathematik zu der neueren, den ich eben anschaulich zu machen gesucht habe, nämlich die Ehre der Einführung der mathematischen Bezeichnungskunst, gebührt Descartes. Aber dieser Schritt war nur der erste in einer neuen Richtung. Da die Bezeichnung jeder krummen Linie vollständige Rechenschaft von ihr giebt, so ist offenbar, dass aus ihr auch Alles muss herausgelesen werden können, was der krummen Linie eigenthümlich ist. Die Geometer erhielten daher die Aufgabe, Methoden zu finden, wodurch das in ihr Verborgene an den Tag gelegt werden konnte. Sie fanden, dass jede, eine krumme Linie betreffende Frage, durch eine von ihrer Bezeichnung ausgehende, der Art der Frage angemessene Operation, beantwortet werden konnte. Fragt man nach der Lage einer geraden Linie, welche eine bezeichnete krumme an einem bestimmten Punkte berührt, so erhält man die Antwort durch die Forderung einer, mit der Bezeichnung selbst vorzunehmenden bestimmten Operation; fragt man nach der Länge des

von zwei beliebigen Punkten begrenzten Bogens der krummen Linie, nach dem Raume der von diesem Bogen und einer, oder mehreren, geraden oder krummen Linien eingeschlossen wird — kurz nach irgend etwas, was, durch die Kenntniss der krummen Linie selbst, seine Bestimmung erhält, so sind die Antworten immer von derselben Art. Auf gleiche, sich auf jede beliebige krumme Linie beziehende Frage, wird immer durch die Forderung einer gleichen Operation geantwortet; die Antwort wird nur dadurch für verschiedene krumme Linien verschieden, dass die von ihr geforderte Operation mit den ihnen zugehörigen verschiedenen Bezeichnungen vorgenommen wird.

Die Aufsuchung der jeder Frage angemessenen Operation, gab der sogenannten Analyse des Unendlichen ihre Entstehung; einer Erfindung, die die Zeit von Newton und Leibnitz zu der glänzendsten in der Entwickelungsgeschichte der menschlichen Einsichten machen würde, wenn ihr auch der Erstere nicht, durch die Entwickelung der Philosophie der Natur, von einer anderen Seite gleich hellen Glanz verliehen hätte. Seit dieser Zeit haben die mathematischen Betrachtungen zwei abgesonderte Theile erhalten: sie zerfallen in die allgemeine Antwort auf alle einander ähnlichen Fragen, und in die Ausführung der durch diese geforderten Operationen in jedem besonderen Falle. Die letztere hat einen neuen Zweig der Mathematik in das Leben gerufen, den mathematischen Calcül; dessen Gegenstand die Aufsuchung der Mittel ist, wodurch die geforderten Operationen

ausführbar werden. Das äusserste Ende dieses Zweiges ist zwar, immer wenn Anwendung auf besondere Fälle beabsichtigt wird, die Zahlenrechnung; aber man würde sich von dem mathematischen Calcül, geschweige denn von Mathematik, eine ganz unrichtige Vorstellung machen, wenn man diese von der Rechnung hernehmen wollte. Der mathematische Calcül giebt vielmehr die Vorschrift, wie, immer wenn jene Anwendung verlangt wird, die Rechnung geführt werden soll.

Wenn ich von krummen Linien gesprochen habe, so ist es nur geschehen, um der Gestalt sichtbare Umrisse zu geben, die die reine Mathematik in dem Falle einer Anwendung zeigt. An sich hat sie weder mit krummen Linien, noch mit irgend einem sinnlichen Gegenstande, sondern nur mit Zahlen zu thun; es giebt nur eine Mathematik, die aber so viele Anwendungen findet, als Vorstellungen durch Zahlen erschöpfend beschrieben werden können. Sie lehrt nie etwas unmittelbar von dem Gegenstande ihrer jedesmaligen Anwendung, sondern nur mittelbar, indem sie zu Zahlen führt, von welchen der Uebergang zu dem Gegenstande gemacht wird. Sie ist reines Raisonnement, welches nur fordert, dass ein Wort oder Zeichen nicht mit sich selbst in Widerspruch gebracht werde. — Soll diese reine Mathematik sich in Geometrie verwandeln, d. h. etwas von Linien und Räumen lehren, so fordert sie vorweg das, was nöthig ist, um ihr Raisonnement mit Linien und Räumen in Verbindung zu setzen; was sie dann fordert, sind die Grundsätze der Geometrie — einige einfache, als keines

Beweises bedürftig anzusehende Behauptungen — die zwar nicht erforderlich sind, um zwei gerade Linien, oder allgemeiner zwei in gleiche und ähnliche Theile zerlegbare Grössen, miteinander zu vergleichen, wohl aber, um eine krumme Linie mit einer geraden, allgemeiner zwei unähnliche Gegenstände, vergleichbar erscheinen zu lassen. Von derselben Art ist das Verhältniss der Mathematik zu der Mechanik, so wie zu jeder ihrer Anwendungen: der Unterschied zwischen der einen und der anderen ist nur, dass die, jede Anwendung vermittelnden Grundsätze aus der Natur dieser Anwendung hergenommen werden.

Die allgemeine Uebersicht über das Wesen der neueren Mathematik, die ich versucht habe, ist grossentheils aus dem Wunsche hervorgegangen, anzudeuten, wo und wie diese die Mittel hat finden können, an sie gerichtete so allgemeine Fragen zu beantworten, dass sie jeden denkbaren, gleichartigen Fall umfassen. Das was ich von der Mechanik zu sagen haben werde, wird hierauf zurückführen. Der grösste Erfolg, auf den dieser Versuch mir Hoffnung geben kann, ist, dass er auf einen Punkt führe, von wo sich eine Fernsicht in das Gebiet der Mathematik eröffnet. Dass bei weitem die Meisten sich mit dieser befriedigen müssen, würde Jedem unerwartet erscheinen, der den Reichthum der neueren Mathematik und das Gewicht kennt, welches sein Besitz sowohl der Forschung in allen Zweigen der Naturwissenschaft und vielen der Kunst, als auch dem Eindringen in Erforschtes verleiht, — wenn er sich nicht leicht überzeugen könnte,

dass Wenige Gelegenheit erlangen, den Werth des von ihnen Entbehrten richtig zu würdigen. Einer Zeit, welcher die neuere Mathematik, und mit ihr jede, durch sie eröffnete Einsicht in die Natur fehlte, gehört die Richtung der wissenschaftlichen Bildung an, welche noch die allgemeine ist. Die Sprachen der Griechen und Römer und die Anfangsgründe der Mathematik der ersteren, waren die Grundlagen des Jugendunterrichts, dessen sprachlicher Theil auch in den geschichtlichen und dichterischen Werken der Alten schöne Gelegenheit zur Anwendung fand, dessen mathematischer Theil aber ähnliche entbehrte. Die Mathematik — ältere und neuere — ist vor Anderem geeignet, an die Unterscheidung unzweideutiger Wahrheit von mehr oder weniger begründeter Annahme zu gewöhnen; die ältere ist auch nichts weniger als arm, sie ist reich an schönen Früchten des menschlichen Geistes; an so schönen, dass sie diese, bei geringen Ansprüchen auf Erfolge in der Erforschung der Natur, also ohne dringende äussere Anregung, vielleicht nur unter dem Schutze des von Sorgen des Nordens befreienden Himmelsstrichs Griechenlands und bei dem Fehlen der Veranlassung, auch die Zeit des reiferen Verstandes auf Erlernung älterer Sprachen zu verwenden, zeitigen konnte. Denn, vergleichungsweise mit dem neueren Zustande der Wissenschaft, ist der ältere ein wenig mächtiges Mittel, in die Geheimnisse der Natur und die werthvollsten Erfindungen in Wissenschaften und Künsten einzudringen. —

Es kostet wenige Zeit, die Bezeichnungskunst, die Sprache der neueren Mathematik, zu lernen; aber nur anhaltende und vorzugsweise Beschäftigung mit der Mathematik und ihren Anwendungen, kann diejenige innige Kenntniss und Geläufigkeit derselben hervorbringen, welche ihrem Besitze seinen vollen Werth verleiht. Jeder der sie lernt wird damit kein Newton, eben so wenig wie Jeder der sprechen lernt ein Weiser wird. Aber wer sie nicht lernt, der leistet Verzicht auf den Besitz des einzigen vorhandenen Mittels, entweder selbst über die Grenze hinauszureichen, die die unmittelbare des Verstandes ist, oder deutlich zu sehen, wohin Andere, es sei in der Mathematik selbst, oder in den, durch sie erworbenen Einsichten in die Natur, gereicht haben. — Selten habe ich die Mathematik als verwerflich darstellen gehört*); aber häufig habe ich über das Verhalten ihres Studiums zu anderen Studien Urtheile gehört, welche mir nur durch die Annahme erklärlich geworden sind, dass die Urtheilenden, indem sie von

*) Montucla führt (Hist. des Math. I. p. 533) eine Stelle aus einer periodischen Schrift des Jahrs 1773 an: „Quelque liaison y a-t-il entre les choses elles-mêmes, et cet obscur grimoire de lettres peut-être jettées au hasard." — Wenn solche Albernheiten selten sind, so finden sich auch mächtige Vorurtheile zwischen unserer Zeit und der späteren, in welcher das Studium der Mathematik, die Auffassung der Erscheinungen der Natur und ihre mathematischen Verbindungen, die Hauptgegenstände des Unterrichts sein werden; Vorurtheile, die rücksichtslos anzutasten, weder heilsam sein, noch gelingen würde, die aber die fortschreitende Zeit naturgemäss, d. h. allmählig zerstören wird.

Mathematik sprachen, nur den älteren Theil derselben, vielleicht nur seine Anfangsgründe, im Sinne hatten. — Leibnitz, der die wundervolle Kraft der mathematischen Sprache genau kannte, fasste den Gedanken, auch die Entwickelung aller anderen Begriffe, durch ein ähnliches Mittel, über die unmittelbare Grenze des Verstandes zu steigern; er verfolgte ihn während seines Lebens und hielt ihn fortwährend für ausführbar. Da er ihn aber weder an einem Beispiele bewährt, noch seine Deutlichkeit anderweitig dargethan hat, auch das was er darüber sagt, eher einem Räthsel als seiner Auflösung gleicht, so ist er ohne Frucht, und damit die Mathematik im ausschliesslichen Besitze eines Mittels, sich bis zu entfernten Wahrheiten zu erheben, geblieben.

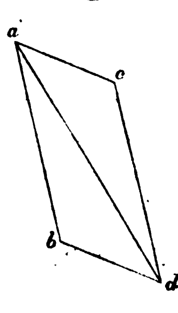
Ich kehre wieder zur Mechanik zurück. — Eine Kraft verräth, wie wir wissen, ihre Grösse, durch die Grösse der von ihr erzeugten Bewegung eines freien, materiellen Punkts. Sind mehrere Punkte miteinander verbunden, wirkt dieselbe Kraft auf jeden und erfährt keiner ein Hinderniss ihrer Wirkung zu folgen, so ist offenbar, dass die freie Bewegung eines der Punkte, nicht von der eines anderen beeinträchtigt wird, dass also das Ganze der Kraft genau so folgt, wie jeder Punkt, abgesondert, ihr folgen würde. Die Bewegung, welche eine Kraft einer Masse, d. h. einer Verbindung von materiellen Punkten, mittheilt, ist also von der Zahl der Punkte unabhängig; aber sie äussert sich sovielmal, als Punkte vorhanden sind. Wenn man unter bewegender Kraft das Product einer Masse

und der auf alle ihre materiellen Punkte wirkenden Kraft versteht, so bezeichnet diese Benennung die Aeusserung der Kraft, die in der durch diese erzeugten Bewegung der Masse hervortritt; ihr muss gleich grosse bewegende Kraft entgegengesetzt werden, wenn die Masse das Bestreben sich zu bewegen, nicht äussern soll.

Der Zustand, in welchem vorhandene Kräfte nicht das Bestreben äussern, Bewegung hervorzubringen, ist der des Gleichgewichts. Jeder ruhende Körper auf der Erde giebt ein Beispiel davon. Ein Körper, der ruhig auf einem Tische liegt, ist im Gleichgewichte, weil der bewegenden Kraft, vermöge welcher er fallen würde, wenn der Tisch nicht vorhanden wäre, durch die Festigkeit der letzteren eine gleich grosse entgegengesetzt wird; eine, beiderseits gleich belastete, gleicharmige Wage ist im Gleichgewichte, weil die eine Last sich eben so stark nach der einen Seite, als die andere nach der anderen zu drehen strebt. Aus gleichen, aber entgegengesetzt wirkenden bewegenden Kräften geht immer Gleichgewicht hervor; aber man begreift leicht, dass Hundert Fällen, in welchen es sich, wie in den eben angeführten, von selbst versteht, Tausend andere an die Seite gesetzt werden können, in welchen die Bedingung, die erfüllt werden muss, damit es eintrete, nur durch Raisonnement klar wird. Um eines der einfachsten dieser Fälle zu erwähnen, erinnere ich an die ungleicharmige Wage, die sogenannte Schnellwage, zu deren Gleichgewichte erforderlich ist, dass, wenn einer ihrer Arme 2, 3, 4, . . .

mal so lang ist als der andere, der kürzere 2, 3, 4, . . . mal so stark belastet werde als der längere. Dieses kann aber nicht als eine sich von selbst verstehende Wahrheit, sondern nur als eine aus einer solchen gefolgerte angesehen werden, wenn auch ein so einfacher Fall nur eine nahe liegende Folgerung erwarten lässt.

Archimed, der Einzige unter den Alten, der uns einige Anfangsgründe der Mechanik hinterlassen hat, ist von dem Gleichgewichte der gleicharmigen Wage ausgegangen, und hat aus der evidenten Bedingung desselben, zunächst die Bedingung des Gleichgewichts der ungleicharmigen Wage, und ferner die Bedingungen anderer Fälle des Gleichgewichts abgeleitet. Neuere, von Galilaei an, haben als Grundsatz angenommen, dass ein Punkt, wenn er die Wirkung zweier Kräfte erfährt, beiden folgt, d. h. sich in der Richtung jeder so weit bewegt, als sie allein ihn treiben würde; woraus hervorgeht, dass er sich wirklich in der Diagonale $a\,d$ des Parallelogramms bewegt, dessen Seiten $a\,b$, $a\,c$ Grösse und Richtung der Kräfte darstellen; dass also die beiden Kräfte zusammengenommen einer dritten gleich gelten, deren Grösse und Richtung durch die Diagonale $a\,d$ dargestellt wird, oder dass diese dritte, in entgegengesetzter Richtung genommen, ihnen Gleichgewicht leistet. — Obgleich der eine dieser Grundsätze aus dem anderen gefolgert



werden kann, beide also in allen Fällen, für welche die Bedingungen des Gleichgewichts aufgesucht werden sollen, nothwendig zu gleichen Resultaten führen, so ist doch jene Folgerung nicht so einfach, dass sie nicht Anlass geben sollte, noch einen dritten Grundsatz zu vermuthen, der beide enthält. Dieses ist wirklich der sogenannte Grundsatz der virtuellen Geschwindigkeiten. Wenn man einem Systeme — gleichviel wie — miteinander verbundener materieller Punkte, eine beliebige unendlich kleine Bewegung giebt, und dann die dadurch, in der Richtung jeder auf einen Punkt wirkenden Kraft hervorgebrachte Ortsveränderung desselben mit der Kraft selbst multiplicirt, so ist die Gleichheit der Summe derjenigen dieser Producte, in welchen die Ortsveränderung und die Kraft gleiche Richtung haben, und der Summe der Producte, in welchen beide entgegengesetzte Richtung haben, dem ausgesprochenen Grundsatze zufolge, die Bedingung des Gleichgewichts des ganzen Systems. Diesen Grundsatz, obgleich nicht so allgemein ausgesprochen, hat schon Galilaei erkannt; aber Johann Bernoulli hat zuerst seinen vollen Werth an den Tag gelegt. Zwar ist er nicht so unmittelbar evident, dass er als erster Grund der Lehre vom Gleichgewichte gelten könnte; aber es ist nicht schwer, ihn aus anderen evidenten Sätzen, z. B. den vorher erwähnten, abzuleiten. Lagrange hat seine Wahrheit sehr einfach, durch die Verfolgung der Betrachtung erwiesen, dass ein gespannter Faden allenthalben gleich stark gespannt ist.

Dieser Grundsatz spricht die Bedingung des Gleichgewichts aus, ohne seinen Ausspruch auf die Eigenthümlichkeit irgend eines bestimmten Falls zu beziehen. Er unterscheidet sich hierin von den vorher angeführten Grundsätzen, indem diese dieselbe Bedingung für besondere Fälle aussprechen, der eine für den Fall der Wage, der andere für den Fall verschiedener, auf einen Punkt wirkender Kräfte. Wenn es auch möglich ist, von den Bedingungen des Gleichgewichts dieser Fälle zu denen zusammengesetzterer zu gelangen, so geschieht dieses doch wirklich erst in Folge der Auffindung eines Ueberganges von dem einen zu dem anderen; wogegen der Grundsatz der virtuellen Geschwindigkeiten jeden Fall unmittelbar enthält, indem er von jedem körperlichen Systeme gilt. Wenn es daher gelingt, die mathematische Bezeichnung dieses Grundsatzes zu finden, so umschliesst sie die ganze Lehre vom Gleichgewichte, und liefert also die jedem bestimmten Falle angemessene Bedingung desselben; gerade so, wie die allgemeine Auflösung einer die krummen Linien betreffenden Aufgabe die einer bestimmten krummen Linie angemessene liefert; d. h. durch Anwendung der allgemeinen Vorschrift auf die Bezeichnung des bestimmten Falles.

Auf diese Höhe ist die Lehre vom Gleichgewichte — die Statik — wirklich gelangt. Unsterblich sind Lagrange's Verdienste darum. Nachdem er die, alle Fälle umfassende Bezeichnung der Bedingung des Gleichgewichts in ihre einfachste Gestalt gebracht hat, setzt er sein ganzes erfinderisches Talent in Thätigkeit,

um Methoden zu entdecken, vermittelst welcher die Antwort auf jede, das Gleichgewicht betreffende Frage, daraus abgeleitet werden kann. Ich kann hier nur davon sagen, dass der Erfolg vollständig gewesen, nämlich dass die Antwort auf jede Frage dieser Art, auf den mathematischen Calcül zurückgeführt worden ist; dass sie also durch die Ausführung bestimmter, mit der Bezeichnung vorzunehmender Operationen geliefert wird.

Indessen glaube ich, wenigstens einiger der Berührungen erwähnen zu müssen, welche die Lehre vom Gleichgewichte mit sich äussernden Erscheinungen hat. Einer ihrer ersten Sätze fordert, dass, wenn die Bewegung einer Masse die Ursache der Bewegung einer anderen wird, die beiden Massen im umgekehrten Verhältnisse ihrer Bewegungen sind. Dieser Satz hat allem Maschinenwerke seine Entstehung gegeben, dessen Zweck ist, durch eine kleinere Masse eine grössere in Bewegung zu setzen. Von dieser Art sind Hebel, Winde, Flaschenzug, Räderwerk, Keil, Schraube, hydraulische Presse u. s. w.; weder eine dieser Einrichtungen, noch irgend eine andere, vermehrt die bewegende Kraft, sondern alle bringen nur hervor, dass eine kleinere Masse eine grössere, durch einen, im Verhältnisse ihrer Grössen kleineren Raum bewegt. Wenn auffallend ist, dass die hydraulische Presse, während einiger Minuten von einem Manne in Wirksamkeit erhalten, einen Balken von festem Holze zerbricht, so ist doch nichtsdestoweniger gewiss, dass der Mann alle dazu erforderliche Kraft selbst

beantworten können, weil die Kraft des Körpers, wenn sie an dem Punkte, der sie erfährt, in entgegengesetzter Richtung angebracht wird, diesen in Gleichgewicht versetzt, ihre Bestimmung also aus der Bedingung des Gleichgewichts dieses Punkts hervorgeht. Fälle dieser Art sind die Bestimmung der Kräfte, welche sich an der Oberfläche der Erde äussern, und der Kräfte, womit diese auf den Mond und andere Himmelskörper, so wie auch der eine der letzteren auf den anderen, wirken. Der einfachste von allen ist der Fall einer Kugel, die entweder ganz homogen, oder aus homogenen concentrischen Schichten zusammengesetzt ist, und deren einzelne Massentheile dem allgemeinen Gesetze der Schwere gemäss anziehen. In diesem Falle geht aus der Lehre vom Gleichgewichte hervor, dass ein Punkt, wenn er sich entweder ausser der Kugel, oder auf ihrer Oberfläche befindet, genau so angezogen wird, als wäre ihre ganze Masse in ihrem Mittelpunkte vereinigt; ferner, dass ein Punkt in ihrem Inneren nur von der Kugel angezogen wird, deren Halbmesser seine Entfernung vom Mittelpunkte ist, dass er aber von jeder ihn umgebenden Schichte, nach entgegengesetzten Richtungen gleich starke, sich also gegenseitig vernichtende Anziehungen erfährt, er sich also auch allenthalben im Inneren einer Hohlkugel im vollkommenen Gleichgewichte befindet. — Das Gesagte wird hinreichen, seinen Zweck zu erfüllen, nämlich die Vielfältigkeit der Erscheinungen anzudeuten, über welche die Lehre vom Gleichgewichte ein Urtheil herbeiführt.

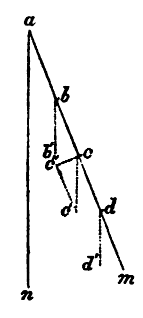
Ich gehe daher zu dem zweiten Theile der Mechanik, der Lehre von der Bewegung, der Dynamik über, zu einer ganz den Neueren angehörigen Wissenschaft, deren ersten Grund Galilaei gelegt hat. Immer wenn nicht Gleichgewicht stattfindet, also wenn eine Kraft zur freien Aeusserung gelangt, verwandelt sich entweder vorhandene Ruhe in Bewegung, oder eine vorhandene Bewegung in eine geänderte. Die Dynamik hat die Aufgabe, zu bestimmen, wo jedes Theilchen eines bewegten Körpers, oder körperlichen Systems sich jederzeit befindet. Die einfachsten Fälle von Bewegung sind nicht geeignet, den Umfang dieser Aufgabe anschaulich zu machen; aber wer sich erinnern will, wie ein gerade oder schief in die Höhe geworfener unregelmässiger Körper scheinbar ohne Regel fortschreitet und bald so, bald anders schwingt und dreht, dem wird schon eher anschaulich werden, dass die Aufgabe, von dieser Bewegung für jeden Augenblick vollständige Rechenschaft zu geben, zu denen gehört, die man nur mit gehöriger Ausrüstung anzugreifen wagen darf. Sie musste aber nicht nur angegriffen, sondern auch überwunden werden, wenn Einsicht in zahllose Erscheinungen der Natur erlangt werden sollte.

Die einfachste Bewegung, die eines Punkts, der mit unveränderlicher Geschwindigkeit in gerader Linie fortschreitet, bedingt, dass keine Kraft auf ihn wirkt, oder was gleichgültig damit ist, dass auf ihn wirkende Kräfte im Gleichgewichte sind; denn eine Kraft würde sich durch Veränderung, entweder der Geschwin-

digkeit oder Richtung, oder beider zugleich, offenbaren. — Wirkt eine Kraft in derselben Richtung, in welcher die Bewegung vor sich geht, so erhält sie offenbar keinen Einfluss auf die Richtung, verändert also nur die Geschwindigkeit. Sie erzeugt, in jeder gleichen Zeit, entweder immer gleiche, oder verschiedene Veränderungen der Geschwindigkeit, jenachdem sie selbst allenthalben in der durchlaufenen Linie gleich bleibt, oder sich verändert. Die Wirkung einer gleichbleibenden Kraft wird in dem Fallen der schweren Körper von einer Höhe herab anschaulich: in jeder Secunde während der Dauer des Fallens erzeugt sie eine gleiche Vermehrung der Geschwindigkeit, so dass diese, wenn der Körper aus der Ruhe fällt, am Ende der zweiten, dritten, vierten, ... Secunde zweimal, dreimal, viermal, ... so gross ist als am Ende der ersten; die Bewegung während jeder Secunde ist offenbar die halbe Summe der Geschwindigkeiten an ihrem Anfange und Ende. Wenn die sich in einer Secunde erzeugende Geschwindigkeit, durch Beobachtung bekannt geworden ist, so kennt man also auch die Bewegungen in den verschiedenen Secunden, und durch ihre Addition die ganze durchfallene Höhe. Auf ähnliche Art wird auch die Wirkung einer veränderlichen Kraft bekannt; der Unterschied ist nur, dass die Zusätze, die sie in jeder Secunde, zu der an ihrem Anfange vorhandenen Geschwindigkeit macht, nicht gleich bleiben, sondern sich der Veränderung der Kraft gemäss verändern. Man wird aber wohl

erwarten, dass die Mathematik, in ihrem Reichthume, leicht das Mittel gefunden hat, welches über die Bewegungen in den einzelnen Secunden hinweg, mit einem Schritte zu dem letzten Resultate führt. — Wirkt dagegen die Kraft in einer Richtung, die von der Bewegung verschieden ist, so lenkt sie den Punkt offenbar von der letzteren ab, und veranlasst ihn, da in jedem Augenblicke eine neue Ablenkung erfolgt, eine krumme Linie zu durchlaufen. Auch in diesem Falle, so wie in allen Fällen der Bewegung eines Punkts, sie mag das Resultat einer Kraft, oder mehrerer zugleich wirkender Kräfte sein, der Punkt mag frei oder genöthigt sein, einer gegebenen krummen Linie oder Fläche zu folgen — immer liegt die Zurückführung ihrer Kenntniss auf den mathematischen Calcül so nahe, dass sie schon zu den früheren Erfolgen der neueren Mathematik gehörte. — Aber die Lehre von der Bewegung soll sich nicht auf Punkte beschränken, sondern auch kennen lehren, wie Körper, und, allgemeiner, alle Verbindungen körperlicher Theile, fortschreiten, drehen, schwingen oder schwanken, die auf sie wirkenden Kräfte mögen beschaffen sein wie sie wollen.

Die Kenntniss des wahren, d. h. in allen Fällen genügenden Grundsatzes dieser Lehre, gehört erst der Mitte des vorigen Jahrhunderts an, zu welcher Zeit d'Alembert ihn entdeckte. Ich muss versuchen, ihn zu erläutern, was durch Verfolgung eines zum Beispiele gewählten Falls am leichtesten gelingen wird.



Man stelle sich eine gerade, unbiegsame Linie *a m* vor, welche die Mittelpunkte *b*, *c*, *d*, ... verschiedener Kugeln mit einander verbindet, und deren oberes Ende mit einem festen Punkte *a* so verbunden ist, dass sie sich um diesen Punkt drehen, also jede Kugel sich in dem Kreise bewegen kann, dessen Halbmesser ihre Entfernung von *a* ist. Im Zustande des Gleichgewichts fällt die Linie mit der Lothlinie *a n* des festen Punkts zusammen, weil dann der gemeinschaftliche Schwerpunkt aller Kugeln so niedrig als möglich ist. Wird sie, in anderer Lage *a m*, der Kraft überlassen, welche das Fallen der schweren Körper verursacht, so entsteht Bewegung, und zwar die einzig mögliche, die drehende um *a*, denn die Festigkeit dieses Punkts verhindert jede andere. Wenn diese Kraft, die gleiches Fallen aller Kugeln verursachen würde, wenn sie sich frei äussern könnte, durch die gleichen, sämmtlich in ihrer Richtung liegenden Linien *bb'*, *cc'*, *dd'*, ... dargestellt wird, so kann sie in zwei Theile, z. B. für die Kugel *c* in *c''c'* und *cc''* zerlegt werden, deren einer *a m* parallel, der andere senkrecht darauf ist. Der erste Theil, der die Kugel *c* von *a* zu entfernen strebt, wird durch die Festigkeit ihrer Verbindung mit *a* unwirksam, der zweite aber strebt sie in seiner Richtung, der senkrechten auf *a m*, zu bewegen; was hier von einer Kugel gesagt ist, gilt von allen, und alle erhalten dadurch gleiches Bestreben, sich in der auf *a m* senk-

rechten Richtung zu bewegen. Allein gleiche Bewegung können alle Kugeln nicht annehmen, indem der feste Punkt a ungleiche nothwendig macht, nämlich eine kleinere der näheren, eine grössere der entfernteren, indem er also bei einigen Verluste an den Bewegungen, die sie ohne ihre Verbindung untereinander annehmen würden, bei anderen Gewinne verursacht; welche Verluste und Gewinne allein aus der vorhandenen Verbindung hervorgehen, nicht etwa aus vorhandenen Kräften, oder, wenn man solche annehmen will, aus gegenseitig im Gleichgewichte befindlichen, d. h. auf die Bewegung des Ganzen keinen Einfluss erhaltenden. Indem man nun auf jede Kugel eine Kraft wirkend annehmen kann, welche durch ihre Wirkung denselben Verlust oder Gewinn an Bewegung erzeugen würde, der wirklich aus der Verbindung hervorgeht, so sagt das Vorhergehende, dass die so angenommenen, auf die verschiedenen Kugeln wirkenden Kräfte untereinander im Gleichgewichte sein müssen. — Was hier, um es anschaulicher zu machen, von Einem Falle gesagt ist, gilt nicht minder von jedem anderen, in welchem die vorhandenen Verbindungen Ursache werden, dass die auf jeden Punkt wirkenden Kräfte ihre Wirkungen nicht frei äussern können: immer sind die Kräfte, welche die verlorenen oder gewonnenen Bewegungen der einzelnen Massentheile eines beliebigen Systems zu erzeugen fähig sind, untereinander im Gleichgewichte. Dieses ist der von d'Alembert entdeckte Grundsatz, dessen Entdeckung möglich gemacht hat, jede Aufgabe, welche die Be-

springender Mensch mag, nachdem er sie verlassen hat, durch eigene Muskelbewegung wohl bewirken, dass dieser oder jener Theil seines Körpers den Boden zuerst berührt, aber seine Anstrengungen können die Bewegung seines Schwerpunkts nicht um die Breite eines Haars verändern; bei welcher Behauptung jedoch die durch seine Bewegungen erzeugten Bewegungen der — genau genommen mit zu dem bewegten Systeme gehörenden — Luft, als verhältnissmässig unbedeutend, unbeachtet geblieben sind. — Wenn ein Himmelskörper durch innere Kräfte zersprengt würde, so würde jeder der sich trennenden Theile zwar eine andere Bahn beschreiben, aber der gemeinschaftliche Schwerpunkt aller Theile würde sich jederzeit genau an dem Orte befinden, wohin der ganze Körper, ohne die Zersprengung gelangt sein würde.

Dieses in unzähligen Fällen sinnlich werdende Gesetz, bringt offenbar hervor, dass jede Frage nach der Bewegung eines körperlichen Systems in zwei Theile zerfällt, deren einer die Bewegung seines Schwerpunkts betrifft, der andere die Bewegungen um diesen Punkt. Wenn man von den Oertern, wo sich einer der materiellen Punkte des Systems am Anfange und am Ende einer sehr kurzen Zeit befindet, senkrechte Linien auf eine beliebige, durch den Schwerpunkt gelegte Ebene fället, und die Punkte wohin sie treffen, sowohl untereinander als auch mit dem Schwerpunkte, dnrch gerade Linien verbindet, so heisst das von ihnen eingeschlossene Dreieck, die (der angenommenen Zeit zugehörige) Winkelfläche des

materiellen Punkts. Von dem anderen Theile der Frage, nämlich von der Bewegung jedes auf beliebige Art verbundenen Systems um seinen Schwerpunkt, gilt nun das Gesetz der Winkelflächen, welches fordert, dass die Summe der Winkelflächen aller seiner materiellen Punkte, im Verlaufe der Zeit stets gleiche Grösse behält, welche Bewegungen untereinander die Punkte des Systems auch erfahren mögen; vorausgesetzt, dass das System keine Hinderungen von nicht zu ihm gehörigen Körpern erfährt. — Auch diesem Gesetze sind zahlreiche Erscheinungen untergeordnet. Ein sich um eine lothrechte Axe drehender fester Körper behält die Geschwindigkeit, mit welcher er in Drehung gesetzt wird, unveränderlich, vorausgesetzt, dass er durch nichts Aeusseres gehemmt wird. Wenn ein Versuch seine unveränderliche Drehung nicht anschaulich macht, vielmehr zeigt, dass sie langsamer wird und endlich aufhört, so ist dieses nothwendig, weil die mehr oder weniger hemmende Reibung der Drehungsaxe nie ganz weggeschafft werden kann und weil die umgebende Luft die freie Drehung hindert; die anfängliche Drehung kann übrigens durch die Anwendung geeigneter Mittel zur Verkleinerung beider Hindernisse des reinen Hervortretens des Gesetzes, zu lange anhaltender Fortsetzung gebracht werden. Wäre der drehende Körper kein fester, sondern enthielte er einen beweglichen Theil, der sich, vermöge einer geeigneten Einrichtung, nach und nach der Drehungsaxe näherte, so würde die Drehung sich beschleunigen; denn da das Gesetz fordert, dass die

den gegenwärtigen Fall zu verfolgen. Dem Gesetze gemäss gelangt jedes Körpersystem, welches alle seine Theile zu verschiedenen Zeiten in gleiche Lage zurückführen kann, und dessen Bewegung weder plötzliche Aenderungen, noch Widerstand und Reibung erfährt, jederzeit mit gleicher lebendigen Kraft in diese Lage; woraus folgt, dass jeder ohne Widerstand und Reibung drehende feste Körper, am Ende einer ganzen Umdrehung dieselbe Drehungsgeschwindigkeit besitzt, die er an ihrem Anfange besass; dass er also seine anfängliche Drehungsgeschwindigkeit ohne Ende fortsetzt. Aber dieser Fall kann nicht künstlich hervorgebracht werden: selbst wenn die Bewegung im leeren Raume vor sich ginge und dadurch von dem Widerstande der Luft befreiet würde, würde die nie fehlende Reibung der Drehungsaxe sie fortwährend verzögern und endlich vernichten. So einfach konnte also kein beabsichtigtes Perpetuum mobile sein; vielmehr musste die Absicht verfolgt werden, statt eines festen Körpers einen zu erfinden, dessen innere Veränderungen während der Drehung, lebendige Kraft erzeugten, wenigstens so viel davon, als erforderlich ist, das zu ersetzen, was Widerstand und Reibung zerstören. Dass auch diese Erfindung nicht gelingen kann, zeigt das Gesetz dadurch, dass es nicht von festen Körpern allein, sondern allgemein von körperlichen Systemen gilt; wodurch es berechtigt, jeder angeblichen Erfindung dieser Art, selbst vor ihrem Bekanntwerden, die Behauptung ihrer Unmöglichkeit entgegenzusetzen Uebrigens mag der

Schein der Wirksamkeit einer projectirten Einrichtung oft so verführerisch gewesen sein, dass er ein, sich nicht auf das allgemeine Gesetz gründendes Urtheil irre führen konnte. Ich erinnere mich z. B., dass ein zwischen zwei Säulen, um eine wagerechte Axe drehendes Rad, vor etwa 40 Jahren Aufsehen machte, indem jeder seiner Beschauer zu begreifen glaubte, dass es durch seine Einrichtung fähig werden müsse, seine Drehung unaufhörlich fortzusetzen. An seinem Umfange war nämlich eine Anzahl an Gelenke beweglicher Massen angebracht, die, aufgerichtet, über den Umfang hinaus standen, niedergelegt mit diesem zusammenfielen; oben, zwischen den Säulen, war ein Stift, der jede niedergelegte Masse, indem sie bei der Drehung des Rades zwischen den Säulen durchging, aufrichtete; unten war ein zweiter Stift, der die aufgerichtet ankommenden Massen niederlegte. Aus dieser Beschreibung geht hervor, dass, wenn das Rad sich drehete, die Massen auf der einen Seite der Säulen immer sämmtlich aufgerichtet, die auf der andern sämmtlich niedergelegt waren, dass also die erste Seite ein Uebergewicht über die zweite besass und daher das Bestreben äusserte, das Rad zu drehen; so wie es sich aber drehete, wurde unten eine Masse niedergelegt, oben eine aufgerichtet und dasselbe Bestreben trat wieder wie vorher ein u. s. w. Dennoch lässt das Gesetz nicht zweifelhaft, dass dieser Apparat keine Drehungsgeschwindigkeit erzeugen kann, sogar dass er vorhandene vermindern muss; das letztere, weil seine Einrichtung

Wurfgeschwindigkeit grösser oder kleiner ist, sehr verschiedene krumme Linien, unter welchen die, die sie wirklich durchläuft, erst durch die Kenntniss des anfänglichen Zustandes der Bewegung bekannt wird. Immer wenn die wirkenden Kräfte gegeben sind, soll die Dynamik die Theorie der Bewegung liefern — die Regel, welcher, in allen Fällen in welchen Kräfte auf gleiche Art wirken, die Bewegung folgt, und welche die jedem besonderen Falle entsprechende wird, indem sie dem, diesem Falle eigenthümlichen anfänglichen Zustande angepasst wird. Diese Theorie muss daher, wenn sie vollständig, d. h. auf jeden der Fälle anwendbar sein soll, so viele unbestimmte Grössen enthalten, als zur Unterscheidung eines anfänglichen Zustandes von jedem anderen erforderlich sind; für die Bewegung eines Punkts z. B. muss sie deren sechs enthalten, weil drei zur Bestimmung des Orts wo diese anfängt, und drei zur Bestimmung der anfänglichen Geschwindigkeit erforderlich sind. *) Da sie sowohl den Ort des bewegten Punktes, als auch seine Geschwindigkeit und ihre Richtung, also gleichfalls sechs Grössen für jede Zeit bestimmen soll, so besteht sie aus sechs Rechnungsvorschriften, welche,

---

*) Eine der drei ersteren kann die Entfernung des Anfangspunkts der Bewegung von dem beliebigen Punkte, auf welchen man seine Bestimmung beziehen will, sein, die zweite kann die Richtung der, beide Punkte verbindenden Linie gegen die Weltgegenden, die dritte ihre Neigung gegen den Horizont bezeichnen; ferner eine der drei anderen die Grösse der Geschwindigkeit, die zweite ihre Richtung gegen die Weltgegenden, die dritte ihre Neigung gegen den Horizont.

durch die jedem Falle angemessenen Werthe der in ihnen unbestimmt gelassenen sechs Grössen, für diesen Fall gültig werden, und durch ihre Ausführung für eine beliebige Zeit, den Ort und die Grösse und Richtung der Bewegung für diese Zeit bestimmen. — Für den Zustand der Bewegung, der hier der anfängliche genannt ist, kann der zu irgend einer bestimmten Zeit vorhandene genommen werden; denn die Art der Entstehung der zu dieser Zeit vorhandenen Bewegung, hat auf die Art ihrer Fortsetzung offenbar keinen Einfluss: die vollständige Kenntniss einer Bewegung fordert also, dass man sie für irgend eine bestimmte Zeit kenne, gleichviel ob diese die Zeit ihres Anfanges oder eine andere ist. Die Erlangung dieser Kenntniss ist der Lehre von der Bewegung fremd: diese liefert nur die allgemeine Theorie aller aus gleichen Kräften hervorgehenden Bewegungen, verweiset aber ihre Verwandlung in die besondere jedes Falls, an die Mittel, welche geeignet sind, das Unterscheidende dieses Falls kennen zu lehren. So giebt z. B. diese Lehre die allgemeine Theorie der Planetenbewegung um die Sonne, verweiset aber die Erfindung der besonderen Theorien der einzelnen Planeten an die Beobachtungen der Astronomen. — Was hier von der Bewegung eines Punkts gesagt ist, kann auf jeden Fall einer Bewegung ausgedehnt werden: die allgemeine Theorie der Bewegung eines Körpers muss z. B. zwölf unbestimmte Grössen enthalten, nämlich sechs für die Bewegung seines Schwerpunkts und sechs für seine

Bewegung um diesen; für zusammengesetzte Systeme kann ihre Zahl immer angegeben werden. In jedem Falle ist die wirkliche Bewegung das Ergebniss der anfänglichen und der vorhandenen Kräfte.

Zum Schlusse muss ich noch den Sinn näher bezeichnen, den die ausgesprochene, umfangreiche Behauptung hat, dass beide Lehren der Mechanik, die vom Gleichgewichte und die von der Bewegung, im Stande sind, jede an sie gerichtete Frage zu beantworten. Der Sinn ist, wie ich auch schon gesagt habe, dass jede dieser Fragen in eine bestimmte Forderung verwandelt werden kann, die der mathematische Calcül zu erfüllen hat. Die Erfüllung liegt ausser dem Gebiete der Mechanik: der Calcül mag sie gewähren oder versagen — in beiden Fällen hat die Mechanik das Ihrige gethan. Von dem Calcül mag hier erwähnt werden, dass, durch die, grösstentheils ihm zugewandten, Anstrengungen des mathemathischen Scharfsinns des vorigen und des jetzigen Jahrhunderts, seine anfänglichen Kräfte zu einer damals unglaublichen Stärke gelangt sind; so dass er in den Stand gekommen ist, die von der Mechanik an ihn gerichteten, oft nicht bescheidenen, oft ihn zu neuen Fortschritten veranlassenden Forderungen, in den meisten Fällen zu befriedigen. Aber die Befriedigung einiger derselben ist bis jetzt noch nicht so genügend, dass sie nicht noch etwas zu wünschen — also auch zu suchen — übrig liesse; und eine ist fast ganz ausser dem Bereiche des Calcüls geblieben. Dieses ist die Forderung, die er befriedigen muss, wenn die Bewegung

der Flüssigkeiten bekannt werden soll. Nur wenn diese Bewegung in sehr kleinen Schwingungen besteht, ist sie dem Calcül zugänglich geworden. Mit Ausnahme dieses Falls, wissen wir daher von der Bewegung der Flüssigkeiten nicht mehr, als was wir unmittelbar davon gesehen haben. Doch muss ich bemerken, dass hier, ausser den Schwierigkeiten des Calcüls noch andere zu überwinden sind.

Astronomische Beobachtungen.

Eine Kugeloberfläche von willkürlicher Grösse, in deren Mittelpunkte sich das Auge eines Beobachters befindet, heisst seine Himmelskugel. Sie gewährt das natürlichste Mittel zur Bezeichnung der Richtung von dem Auge nach jedem Punkte A; denn diese wird vollkommen deutlich durch den Punkt, wo die von dem Mittelpunkte C der Kugeloberfläche nach A gelegte gerade Linie die letztere durchschneidet. Die Entfernung des Punkts A vom Auge (CA) kommt dabei nicht in Betracht, sondern allein seine Richtung; so dass auch alle Punkte, welche, nahe oder fern, in der geraden Linie CA liegen, an einem Punkte der Himmelskugel erscheinen. Indem die Vorstellung der Himmelskugel, die Bezeichnung der Richtung jedes beliebigen Punkts ganz von der Angabe seiner Entfernung trennt, findet sie immer Anwendung, wenn allein die Richtungen von dem Auge nach beliebigen Punkten in Betracht gezogen werden sollen.

Die Durchschnittslinie einer Kugeloberfläche und einer Ebene ist ein Kreis; ein grösster Kreis wenn die Ebene durch den Mittelpunkt geht; ein

desto kleinerer, je weiter sie sich von dem Mittelpunkte entfernt. Indem durch zwei Punkte *A*, *B* und das Auge *C* eine Ebene gelegt werden kann und diese die Kugeloberfläche in einem grössten Kreise durchschneidet, so können die Bezeichnungen der beiden Punkte auf ihr, immer durch den Bogen eines grössten Kreises verbunden werden, welcher Bogen den Winkel zwischen den nach seinen Endpunkten gelegten Radien, also zwischen den Gesichtslinien nach *A* und *B*, misst. Dieser Bogen oder der ihm zugehörige Winkel bestimmt also die Entfernung der Richtungen nach beiden Punkten; seine Grösse wird in 360teln des ganzen Umfanges des Kreises oder Graden, in 60teln des Grades oder Minuten, in 60teln der Minute oder Secunden, und endlich in Brüchen der Secunde angegeben.

Die Richtung des Fadens eines, auf das Auge des Beobachters treffenden Lothes bestimmt, an der Himmelskugel, oben den Scheitelpunkt oder das Zenith, unten den Fusspunkt oder das Nadir. Die durch das Auge gelegte Ebene, auf welcher die Lothlinie senkrecht ist, heisst die Ebene des Horizonts, der ihr entsprechende grösste Kreis der Himmelskugel heisst der Horizont. So wie Zenith und Nadir durch die Richtung des Lothfadens unmittelbar sinnlich werden, so wird es die Ebene des Horizonts durch die ruhige Oberfläche einer Flüssigkeit; denn dass die mit jener übereinstimmende Richtung der Schwere senkrecht auf dieser ist, geht aus der absoluten Beweglichkeit der Theile der Flüssigkeit her-

vor, welche in Folge jeder schief auf sie wirkenden Kraft in Bewegung gerathen würden. Wenn man sich den Scheitelpunkt und Horizont an der inneren Seite der Kugeloberfläche bezeichnet verstellt, und dann Richtungslinien nach allen Fixsternen legt, so ergiebt die Bezeichnung der Punkte, wo diese die Oberfläche durchschneiden, ein treues Bild der Lage der Fixsterne untereinander und gegen den Scheitelpunkt und Horizont. Dieses Bild bleibt aber nicht treu; eine Stunde später sieht man, dass die Sterne sich beträchtlich von ihren vorigen Oertern, in unseren Gegenden der Erde im Allgemeinen nach der rechten Seite bewegt haben, dass die östlichen sich von dem Horizonte entfernt, die westlichen sich ihm genähert haben. Aber trotz dieser Bewegung, findet sich die Lage der Fixsterne untereinander nicht geändert, sondern nur ihre Lage gegen den Scheitelpunkt und Horizont hat eine Aenderung erfahren. Hieraus folgt, dass man das frühere Bild, durch eine Bewegung der ganzen Kugeloberfläche, wieder in Uebereinstimmung mit dem Himmel bringen kann. Durch aufmerksame Verfolgung dieser Bewegung hat man erkannt, dass sie höchst einfach, nämlich eine Drehung um eine, gegen den Horizont festliegende Axe ist; so dass die Drehung der Kugel um diese Axe auch hinreicht, jeden Fixstern in der Verlängerung des Radius des ihn abbildenden Punkts zu erhalten.

Der Punkt der Himmelskugel, welcher der Richtung der Drehungsaxe entspricht, heisst ihr Pol;

seine Entfernung von dem Horizonte heisst die Polhöhe. Offenbar hat die Himmelskugel zwei, einander gerade entgegengesetzte Pole, den Nordpol und den Südpol, deren erster über, der andere unter unserem Horizonte liegt. Der grösste Kreis der durch den Scheitelpunkt und den Pol geht, heisst der Mittagskreis oder Meridian. Indem jeder Fixstern, bei der Drehung der Kugel, einen Kreis um den Pol beschreibt, wird der Ort des letzteren durch die Aufsuchung des Mittelpunkts des von einem dieser Sterne beschriebenen Kreises bekannt. Wenn sich ein Fixstern in der Richtung der Drehungsaxe befände, so würde er keine Bewegung zeigen, also den Pol unmittelbar versinnlichen.

Die einem der Pole näheren Fixsterne durchlaufen kleinere, die entfernteren grössere Kreise; den grössten Kreis — den Aequator — durchlaufen die von beiden Polen gleich entfernten, die sich in der Ebene befinden, welche, senkrecht auf die Drehungsaxe, durch das Auge des Beobachters gelegt wird. Die auf der Himmelskugel gemessene Entfernung eines Sterns von dem Aequator heisst seine Abweichung oder Declination, und die Seite des Aequators, auf welcher er sich befindet, wird durch den Zusatz nördliche oder südliche unterschieden. Der durch den Pol und einen Stern gelegte grösste Kreis heisst der Declinationskreis des letzteren; offenbar geht er durch beide Pole und durchschneidet den Aequator in rechten Winkeln. Der Winkel am Pole zwischen den Declinationskreisen zweier Sterne, oder der

Winkel zwischen den durch die Drehungsaxe und die Sterne gelegten beiden Ebenen, heisst der Geradeaufsteigungs- oder Rectascensionsunterschied. Geradeaufsteigung oder Rectascension eines Sterns, heisst sein Geradeaufsteigungsunterschied von dem Punkte des Aequators, an welchem die Bewegungslinie der Sonne diesen durchschneidet, wenn ihre südliche Abweichung in nördliche übergeht; welcher Punkt selbst der Frühlingsnachtgleichenpunkt heisst.

Die Drehung aller Fixsterne um ihre gemeinschaftliche Drehungsaxe geht mit unveränderlicher Geschwindigkeit vor sich. Indem jeder von ihnen stets denselben Kreis durchläuft, verstreicht zwischen zwei aufeinanderfolgenden seiner Durchgänge durch irgend einen bestimmten Punkt dieses Kreises, immer eine gleiche Zeit, welche ein Sternentag genannt und wie der gewöhnliche Tag in Stunden, Minuten und Secunden eingetheilt wird. — Da also die Fixsterne sich dem Beobachter zeigen, als befänden sie sich an festen Punkten der inneren Seite einer Kugeloberfläche, welche sich, mit stets gleicher Geschwindigkeit, um eine gegen den Horizont feste Axe, von links nach rechts drehet, so erhält die Aufgabe, den Ort zu bestimmen, welchen einer von ihnen, beziehungsweise auf den Horizont und Meridian, zu einer beliebigen Zeit hat, eine höchst einfache Auflösung: diese zerfällt nämlich in zwei Theile, deren einer die Bestimmung des Punkts fordert, wo der Stern sich an der inneren Seite jener Kugeloberfläche befindet,

der andere, dass derselben die der Zeit entsprechende Lage gegen den Horizont gegeben werde. Offenbar gilt dasselbe für jedes Gestirn, nicht minder für ein unter den Fixsternen fortschreitendes, als für einen Fixstern. Nur der erste Theil, die Bestimmung des Orts des Gestirns an der Himmelskugel, an welcher die Fixsterne fest sind, kommt in Betracht, wenn nicht nach seiner Stellung gegen den Horizont und Meridian gefragt wird. Auch wenn man diese kennen lernen will, darf man die gegen den Horizont feste Himmelskugel ganz ausser Betracht lassen, indem man dem Scheitelpunkte (und mit ihm dem Horizonte und Meridiane), dieselbe Bewegung an der Himmelskugel der Fixsterne beilegt, welche diese in Beziehung auf den Scheitelpunkt zeigt. Daher wird immer nur von einer Himmelskugel, nämlich der der Fixsterne, auf welcher der Scheitelpunkt beweglich ist, geredet. — Ich habe dieser Darstellung der Begriffe von der Himmelskugel hier eine Stelle eingeräumt, um aus den — ohne lästige Umschreibungen nicht vermeidlichen — Kunstwörtern keine Undeutlichkeit entstehen zu lassen.

Die Astronomie hat die Aufgabe, Alles kennen zu lehren, was uns von den Bewegungen und der Beschaffenheit der Himmelskörper, einschliesslich des Erdkörpers bekannt werden kann. Für jetzt soll von den Bewegungen die Rede sein, welche die Astronomie nur kennen lehren kann, indem sie Regeln liefert, aus deren Anwendung für eine beliebige Zeit, der Ort hervorgeht, welchen jeder der Himmelskörper

dann im Raume einnimmt. Offenbar kann das Unterscheidende der Bewegung eines Himmelskörpers von der eines anderen, nur durch ihn betreffende Beobachtungen erkannt werden, und zwar nur durch Beobachtungen seiner Oerter an der Himmelskugel, indem nur die Richtungen in welchen er erscheint, nicht seine Entfernungen, unmittelbar aufgefasst werden können. Von einer beobachteten Anzahl seiner Richtungen soll also die Astronomie, durch eine Reihe von Schlüssen, zu den Regeln führen, welche seinen Ort im Raume für jede Zeit bestimmen. Wir finden daher die Astronomen zuerst bemüht, dem Himmel solche Beobachtungen abzugewinnen; dann, die Regeln aufzusuchen, deren Erfindung ihre Aufgabe ist.

Jeder durch Beobachtung ausgemittelte Ort an der Himmelskugel, muss als eine Annäherung an den Ort, den der beobachtete Himmelskörper, zur Zeit der Beobachtung wirklich einnahm, angesehen werden; denn unser Auge und die Hülfsmittel, durch welche eine von ihm aufgefasste Richtung bestimmt wird (z. B. durch Rectascension und Declination), legen nie absolutes, sondern immer nur innerhalb gewisser Grenzen sicheres, Zeugniss für sie ab. Diese Grenzen sind zwar, im Laufe der Zeit, von Brüchen eines Grades, bis zu ähnlichen Brüchen einer Secunde eingeengt worden, aber die Beobachtungen haben dadurch weder aufgehört, noch werden sie je aufhören, Annäherungen an die Wahrheit zu sein.

Auch die Natur der Regeln, welche die Astronomie liefern soll, muss ich hier zu erläutern suchen;

denn zwischen ihnen und den Beobachtungen findet eine Wechselwirkung statt, welche man kennen muss, um das was ich von den letzteren zu sagen haben werde, richtig zu verstehen. Immer liegt ihnen eine allgemeine, d. h. allen einander ähnlichen Fällen gemeinschaftliche, Theorie zum Grunde, welche, indem sie auf einen bestimmten Himmelskörper angewandt wird, die besondere Theorie seiner Bewegung, oder die von der Astronomie verlangte Regel liefert. Diese muss also zwei verschiedenartigen Forderungen genügen: ihr muss die richtige allgemeine Théorie zum Grunde liegen, und ferner müssen die Grössen, die diese, indem sie allen einander ähnlichen Fällen gemeinschaftlich zukommt, unbestimmt lassen muss, dem besonderen Falle gemäss bestimmt werden. Wenn die erlangte Regel, der ganzen Reihe der vorhandenen Beobachtungen insoweit entspricht, als die Sicherheit der letzteren fordert, so bestätigen diese die Regel; d. h. sie veranlassen weder einen Zweifel an der Richtigkeit der allgemeinen Theorie, noch an der Richtigkeit ihrer Uebertragung auf den besonderen Fall. Aber Unrichtigkeiten, entweder der einen oder der anderen, die verborgen bleiben, so lange die vorhandenen Beobachtungen noch rohere Annäherungen sind, können bemerkbar werden wenn diesen spätere und sicherere hinzukommen; und wenn es dann nicht gelingt, die die Unsicherheit der Beobachtungen übertreffenden Verschiedenheiten zwischen diesen und der Regel, durch die Annahme anderer Werthe der unbestimmten Grössen der allgemeinen Theorie, in

ihre gehörigen Grenzen zurückzuführen, so beweisen die hinzugekommenen Beobachtungen gegen diese, und werden dadurch Veranlassung, eine genügendere aufzusuchen. Auch das Entgegengesetzte kann stattfinden, die allgemeine Theorie kann zuverlässiger werden als die Beobachtungen; welcher Fall zur Ergreifung von Massregeln auffordern wird, die geeignet sind, die Sicherheit der Beobachtungen, und in Folge davon auch der besonderen Theorie, zu vermehren. — Diese gegenseitigen Einwirkungen der Beobachtungen und der Theorie aufeinander, treten sehr deutlich in der allmähligen Entwickelung unserer Kenntniss der Bewegungen der Planeten hervor; ich werde oft darauf zurückkommen müssen, indem ich versuchen werde, eine allgemeine Uebersicht über die fortschreitende Beobachtungskunst und ihre Erfolge für die Wissenschaft zu geben.

Die Folgen der frühesten Aufmerksamkeit auf den Himmel — die Bezeichnung der Sterngruppen durch Bilder, die Unterscheidung der Planeten u. s. w. — scheinen mir nur als Aufforderungen zur Astronomie, nicht als ihr Anfang, betrachtet werden zu müssen; selbst die Ermittelung gewisser Perioden der mehr oder weniger regelmässigen Wiederkehr der Mond- und Sonnenfinsternisse, ging nur von lange fortgesetzter Anmerkung der Tage, an welchen solche Erscheinungen vorgekommen waren, nicht von einer genügenden Einsicht in die Bewegungen des Mondes und der Sonne aus. Indessen hatte sich der Begriff der Himmelskugel entwickelt. Aus dem Pallaste des

Ptolomaeus Philadelphus, der 288 v. C. zur Regierung gelangte und, durch die Stiftung der Alexandrinischen Schule, grosse wissenschaftliche Anstrengungen ins Leben rief, gehen die frühesten Beobachtungen hervor, die eine allgemeinere und nähere Kenntniss der Bewegungen der Himmelskörper beabsichtigten, und auch, vorzüglich durch den alexandrinischen Astronomen Hipparch (160 v. C.) hervorbrachten. Diese Leistungen sind durch den Almagest des Claudius Ptolomaeus (dessen Name zwar an die aegyptischen Könige erinnert, der aber kein Nachkomme von ihnen gewesen zu sein scheint) auf uns gekommen; durch ein Werk, welches etwa in der Mitte des zweiten Jahrhunderts unserer Zeitrechnung entstanden ist, und den ganzen Umfang der Astronomie enthält, den sein Verfasser vorfand und durch eigene Kräfte bedeutend erweiterte, sowohl durch Beobachtungen als auch durch Folgerungen aus ihnen. Rom bietet nichts dieser Art dar, wenigstens nichts Erhebliches. Aber bald nachdem die Araber die römischen Fesseln gesprengt hatten, gelangte die Astronomie unter ihnen zur Blüthe. Der Kalif Almamon unterstützte sie nicht allein, sondern bereicherte sie selbst durch Beobachtungen, welche wir noch besitzen. Von seiner Zeit, dem Anfange des neunten Jahrhunderts, bis in das funfzehnte, trug die von ihm gestreute Saat ihre Früchte. Während dieser Zeit lag auf der Astronomie in Europa dichte Finsterniss der Unwissenheit. Der erste namhafte Astronom, der daraus hervorging, war der 1436 ge-

borene Johann Müller, von seinem Geburtsorte Königsberg in Franken Regiomontanus genannt. Er wird als Wiederhersteller der Astronomie in Europa verehrt. Sechsunddreissig Jahre später wurde Copernicus geboren.

Die achtzehn Jahrhunderte zwischen Ptolomaeus Philadelphus und Copernicus kann man als die erste Periode der Astronomie bezeichnen. Diese zeigt uns die Astronomen vorzugsweise bemüht, die Oerter der Gestirne an der Himmelskugel, durch mechanische Nachahmung der täglichen Bewegung, unmittelbar zu erkennen. Die Armillar-sphäre deren sie sich bedienten, stellt verschiedene grösste Kreise der Himmelskugel durch metallene Ringe dar: der Horizont und der Meridian werden durch zwei, einen Durchmesser gemeinschaftlich habende, sich in rechten Winkeln durchschneidende, fest mit einander verbundene Ringe dargestellt, indem diese so befestigt werden, dass der erste in der Ebene des Horizonts, der andere in der des Meridians befindlich ist; um den nach dem Pole gerichteten Durchmesser des letzteren drehet sich ein dritter Ring, der also einen, und zwar vermöge der Drehung jeden, Declinationskreis darstellt; der Winkel, um welchen er, von seinem Zusammenfallen mit dem Meridiane an, jedesmal gedrehet worden ist, wird durch einen Zeiger, auf einer in Grade getheilten Scheibe abgelesen; endlich befindet sich in der Ebene dieses Ringes, ein um seinen Mittelpunkt drehbares Lineal, welches also in jede Neigung gegen die Axe des Ringes gebracht

werden kann, zu deren Erkennung auch diesem eine Eintheilung in Grade gegeben ist. Dieser Apparat ist geeignet, sowohl den Rectascensionsunterschied, als auch die Declinationen zweier Gestirne anzugeben: die letzteren werden unmittelbar an dem eingetheilten Declinationskreise abgelesen wenn die Absehenslinie des Lineals erst auf das eine, dann auf das andere gerichtet wird, der erstere ist der Unterschied der von dem Zeiger angegebenen Winkel; wobei vorausgesetzt wird, dass seine beiden Stellungen entweder gleichzeitig gemacht sind, oder dass die Drehung der Himmelskugel während ihrer Zwischenzeit in Rechnung gebracht wird. — Auch die Rectascension eines Gestirns selbst, nicht allein sein Rectascensionsunterschied von einem anderen Gestirne, kann mittelst dieses Apparats bestimmt werden. Da jene auch ein Rectascensionsunterschied des Gestirns, und zwar der von dem Punkte des Aequators gezählte ist, welchen die Sonne, bei ihrem Uebergange von südlicher Declination zu nördlicher durchschneidet, so unterscheidet sich ihre Bestimmung nur durch den Zusatz eines Mittels diesen Punkt zu erkennen. Dieses Mittel bietet aber der Apparat dar, indem die Sonne, während ihrer Annäherung an den Aequator, durch ihn so lange verfolgt werden kann, bis er das Verschwinden ihrer Declination angiebt: ihr in diesem Augenblicke gemessener Rectascensionsunterschied von einem Fixsterne ist die Rectascension des letzteren. Die Schwierigkeit, dass die Sterne unsichtbar sind wenn die Sonne sichtbar ist, beseitigten die alten

Astronomen dadurch, dass sie den (immer wenn er über dem Horizonte ist, sichtbaren) Mond zur Vermittelung der Beobachtung anwandten: sie suchten nämlich am Tage seine Rectascension, und später, nach Untergang der Sonne, den Rectascensionsunterschied zwischen ihm und einem Sterne; welcher, verbunden mit jener und der Bewegung des Mondes während der Zwischenzeit beider Beobachtungen, die gesuchte Rectascension des Sterns ergab. Dass man nur die Rectascension eines Fixsterns durch diese Vergleichung mit der Sonne zu suchen braucht, und dann, durch die Beobachtung der Rectascensionsunterschiede anderer Gestirne von ihm, auch ihre Rectascensionen erhält, ist offenbar.

Wir müssen uns jetzt zu der Astronomie der ersten Periode wenden, welche aus den Beobachtungen abgeleitet wurde, über deren Wesentlichstes ich oben eine Uebersicht gegeben habe; die aber, in einigen besonderen Fällen, noch durch andere Verfahrungsarten unterstützt wurden, z. B. wurde die Zenithdistanz der Sonne durch die Messung der Länge des auf eine horizontale Ebene geworfenen Schattens beobachtet. — Die einfachste der Bewegungen an der Himmelskugel ist die der Sonne. Eine ihrer Eigenschaften wurde richtig erkannt, die Eigenschaft, dass sie unter den Fixsternen einen grössten Kreis beschreibt. Dieser grösste Kreis heisst die Ecliptik. Seine Lage gegen den Aequator ist bekannt, sobald die Durchschnittspunkte dieser beiden grössten Kreise und der Winkel des einen mit dem anderen,

oder — gleichgültig damit — das Maximum ihrer Entfernung voneinander, bekannt sind. Einer der Durchschnittspunkte ist der Frühlingsnachtgleichenpunkt; indem die Ebene zweier grössten Kreise sich in einer geraden, durch den Mittelpunkt der Kugel gehenden Linie durchschneiden, die Durchschnittspunkte sich also in gerade entgegengesetzten Richtungen zeigen, so liegt der zweite Durchschnittspunkt — der Herbstnachtgleichenpunkt — dem ersten gerade gegenüber, ist also der Punkt des Aequators, dessen Rectascension 180 Grad ist. Der Winkel beider grössten Kreise gegeneinander — die Schiefe der Ecliptik — wird durch Beobachtung entweder der grössten nördlichen Declination der Sonne im Sommer, oder der grössten südlichen im Winter, erkannt; die Punkte der Ecliptik, welche diesen grössten Declinationen entsprechen, heissen die Sonnenwendepunkte, und ihre Rectascensionen sind resp. 90 und 270 Grad.

Allein die Kenntniss der Sonnenbewegung fordert mehr als allein die Bestimmung des grössten Kreises der Himmelskugel, in welchem sie sich zeigt; sie fordert auch die Bestimmung des Gesetzes der Bewegung in der Ebene dieses grössten Kreises. Diese Bewegung geht nicht mit immer gleicher Geschwindigkeit vor sich; in gleicher Zeit durchläuft die Sonne im Sommer kleinere Bögen der Ecliptik als im Winter, so dass sie auch in der nördlichen Hälfte der letzteren fast 8 Tage länger verweilt als in der südlichen; beide Hälften zusammen durchläuft sie in der immer fast genau gleichen Zeit von 365 Tagen, 5 Stunden,

48 Min. und 48 Sec. — Die ungleiche Bewegung musste man vollständig kennen, um angeben zu können, an welchem Punkte der Himmelskugel die Sonne jederzeit erscheint. Die alten Astronomen sahen den Kreis als die vollkommenste krumme Linie, die beständige Geschwindigkeit als die vollkommenste Bewegung, und damit als nothwendig an, dass die Himmelskörper Kreise, mit beständiger Geschwindigkeit durchlaufen. Um dennoch die Ungleichheit der Bewegung der Sonne zu erklären, waren sie gezwungen, diese auf dem Umfange eines Kreises, seinen Mittelpunkt aber auf dem Umfange eines anderen, beide mit beständiger Geschwindigkeit, bewegt anzunehmen. Sie konnten dann das Grössenverhältniss beider Kreise und die Geschwindigkeiten der beiden Bewegungen, so bestimmen, dass den Beobachtungen der Sonne ziemlich nahe dadurch genügeleistet wurde. — Aber die Bewegungen der Planeten zeigen sich weit weniger einfach als die Bewegung der Sonne: sie gehen nicht in grössten Kreisen der Himmelskugel vor sich und sind auch so weit von gleichmässigem Fortschreiten entfernt, dass sie oft sogar aufhören, um dann die entgegengesetzte Richtung anzunehmen, aus welcher sie, einige Monate später, nach einem neuen Stillstande, wieder zur früheren übergehen. Um dieses einigermassen erklären zu können, musste angenommen werden, dass ein Kreis von dem Mittelpunkte eines zweiten, mit beständiger Geschwindigkeit durchlaufen werde, dieser wieder von dem Mittelpunkte eines dritten, und der dritte endlich von dem Planeten selbst.

Dieses war, in der ersten Periode der Astronomie, die allgemeine Theorie der Bewegungen der Sonne und der Planeten. In Ermangelung ihrer Begründung — denn die angeführte besteht nur in damals gangbaren Meinungen — konnte sie ihre Stütze allein in der Uebereinstimmung ihrer Anwendungen auf die Sonne und die einzelnen Planeten, mit den Beobachtungen dieser Himmelskörper finden. Wirklich ist es möglich, die Bewegung der Sonne dadurch so genau darzustellen, dass die roheren Beobachtungen, die man damals besass, keinen Widerspruch dagegen erheben konnten. Aber die Anwendung derselben allgemeinen Theorie auf die Bewegungen der Planeten, leistet weit weniger gute Dienste, so dass ihre ordentliche Prüfung durch hinreichend zahlreiche Beobachtungen derselben, schon erhebliche Zweifel gegen ihre Richtigkeit hätte hervorbringen können. Indessen kann man, zur Entschuldigung des langen Verharrens bei diesem Systeme geltend machen, dass der Schritt von der Unerklärbarkeit einer Erscheinung zu einer Erklärung, immer lange zu genügen pflegt, wenn diese auch nur den Hergang der Erscheinung im Grossen erläutert. Erst der Versuch, die Erklärung vollständig zu machen, ruft das Bedürfniss einer genauen Kenntniss der Erscheinung hervor, und führt dadurch Mittel zu ihrer genügenderen Beobachtung herbei.

Die zweite Periode der Astronomie fängt mit Copernicus an (geb. 1472, gest. 1543) und geht bis zu Newton. Copernicus hat den Gedanken geltend gemacht, dass die gegenseitige Bewegung zweier Punkte nicht an-

deutet, ob der eine oder der andere der bewegte ist. In der Bewegung der Fixsterne beziehungsweise auf den Horizont, sah er nur, dass entweder die Fixsterne, oder der Horizont sich bewegen; in der Bewegung der Sonne an der Himmelskugel nur, dass entweder die Sonne um die Erde, oder die Erde um die Sonne laufe. Er untersuchte dann, welche Entscheidung dieser Zweideutigkeiten die einfachste Erklärung der Erscheinungen giebt; er sah, dass ein unnatürliches Gewirre von Bewegungen sich in natürliche Einfachheit auflösete, wenn die Fixsterne fest und die Erde drehend, die Sonne fest und die Erde um sie laufend angenommen werden. Dieses ist die Lehre des Copernicus. Hätte das Fernrohr schon zu seinem Gebote gestanden, so würden, unter den Planeten, in deren Reihe er die Erde versetzte, alle auf welchen es Flecken unterscheiden lässt, ihm Zeugniss für ihre Axendrehung abgelegt und auch darin ihre Aehnlichkeit mit der Erde dargethan haben.

Die Copernicanische Lehre zerlegt die Aufgabe, den Ort eines Planeten an der Himmelskugel, für jede bestimmte Zeit zu finden, in zwei Theile, deren erster die Punkte im Raume verlangt, wo sowohl der Planet, als auch die Erde sich befinden; der zweite nur die Aufsuchung der Lage der Gesichtslinie von der letzteren nach dem ersteren. Regeln für die Bewegungen der Planeten um die Sonne, können zugleich viel einfacher und vollständiger sein, als die früher gesuchten, welche unmittelbar ihre Bewegungen um die, selbst bewegte, Erde angeben

sollten. Copernicus ruhete nicht nachdem er seine Erklärung des Sonnensystems gefunden hatte; er suchte selbst diese Regeln. Aber da er hoffen konnte, sie der Wahrheit weit näher zu bringen, als die früheren, so musste er sich zuerst bemühen, den Beobachtungen eine Genauigkeit zu geben, welche früher kaum ein Interesse gehabt hatte, jetzt aber dieses erlangte. Regiomontan, gemeinschaftlich mit Bernhard Walter in Nürnberg, waren ihm in diesem Bestreben vorangegangen, indem sie, von 1472 an, häufige Beobachtungen nach verbesserten Methoden gemacht hatten; Copernicus verfolgte ihren Weg, bis er zu dem Besitze genügender Grundlagen seiner Untersuchungen der Bewegungen im Sonnensysteme gelangte. Er verliess die Voraussetzung noch nicht, dass sämmtliche Planeten sich mit unveränderlichen Geschwindigkeiten in Kreisen bewegen, aber er nahm diese Kreise nicht mehr als der Sonne concentrisch, sondern als ihr excentrisch an, und bestimmte nun die Entfernung ihrer Mittelpunkte von der Sonne und die Richtung der beide verbindenden geraden Linie so, dass dadurch eine Erklärung der Ungleichheiten der Bewegung jedes Planeten um die Sonne erlangt wurde.

Ich habe von geringer Genauigkeit der Beobachtungen in der frühesten Periode der Astronomie gesprochen, aber noch nicht angegeben, in wiefern sie Tadel verdienen. Das Princip der Armillarsphäre ist nicht zu tadeln; auch besitzen noch die heutigen Sternwarten, diesem Principe gemäss eingerichtete —

in gewissen Fällen vortheilhafte — Instrumente, obgleich diese eine ganz verschiedene Bauart haben, auch einen anderen Namen führen. Der Tadel trifft die Bauart, Grösse und Ausführung der Armillarsphären, welche nicht so beschaffen waren, dass sie den beobachteten Ort eines Gestirns, nicht vielleicht einen halben Grad hätten zweifelhaft lassen können. Auch sind diese Instrumente nicht einfach genug, um vor ihrer Anwendung leicht in den Zustand der Berichtigung gebracht werden zu können, welcher die Bedingung der Genauigkeit jeder Beobachtung ist, mit welchem Instrumente sie auch gemacht werden mag. Mechanische Kunst und Beobachtungskunst waren beide noch in ihrer Kindheit; erst weit später sind sie so kräftig geworden, dass sie damals verderblich werdende Schwierigkeiten nicht mehr fürchten dürfen.

Der grosse Vorschritt des Copernicus weckte den Muth, noch grössere Genauigkeit der Kenntniss der Bewegungen am Himmel zu suchen. Wenn die in seinen „Sechs Büchern von den Umläufen der Himmelskörper" gegebenen Regeln auch die Genauigkeit besassen, die der Sicherheit der ihnen zum Grunde gelegten Beobachtungen angemessen war, so konnte man doch hoffen, noch sichereren Beobachtungen auch noch genauere Regeln abzugewinnen. Nicht lange nach Copernicus Tode traten zwei Männer auf, deren Bemühungen vorzugsweise auf die Vervollkommnung der Beobachtungen gerichtet waren: Wilhelm IV. von Hessen (geb. 1532, gest. 1592), ein

Fürst, auch unter den Astronomen, und Tycho de Brahe (geb. 1546, gest. 1601) ein Dänischer Edler und ein König derselben. Beide verfolgten das Bestreben, durch Vereinfachung der Instrumente und die dadurch ausführbar werdende Vermehrung ihrer Grösse und Genauigkeit, den Beobachtungen die Sicherheit zu verleihen, deren Bedürfniss sie erkannten. Wir vermissen auf ihren Sternwarten die Armillarsphäre der Alten, oder sehen sie wenigstens nicht mehr an dem Ehrenplatze, den nun ein in der Ebene des Meridians aufgestellter grosser Quadrant, und ein ähnliches Instrument einnehmen, dessen Fussgestell so eingerichtet ist, dass seine Ebene in die Ebene des durch jedes Paar von Gestirnen gehenden grössten Kreises gebracht, und es dann zur Messung ihrer Entfernung an der Himmelskugel angewandt werden kann. Durch den Quadranten, welcher, nachdem sein Mittelpunkt und der Anfangspunkt seiner Theilungen, in die Lothlinie gebracht sind, die Entfernungen der Gestirne vom Scheitelpunkte angiebt, werden ihre Declinationen bestimmt. Die durch das zweite Instrument (gewöhnlich nur ein Sechstel des Kreises, oder ein Sextant, um gar zu grosses Gewicht zu vermeiden) gemessene Entfernung zweier Gestirne, kann als die Seite eines Kugeldreiecks angesehen werden, dessen beide andere Seiten, die Entfernungen der Gestirne vom Pole, also durch ihre Declinationen schon bekannt geworden sind. Durch seine drei Seiten ist dieses Dreieck bestimmt; seine Zeichnung auf einer Kugeloberfläche, aber genauer die trigono-

metrische Rechnung, lehrt seinen, der ersten Seite gegenüberstehenden Winkel, also den Rectascensionsunterschied der Gestirne, kennen. — Diese neue Anordnung der Beobachtungen lieferte viel genauere Resultate als die frühere. Sie war aus der Absicht, diese herbeizuführen, hervorgegangen; welche Absicht auch zur Folge hatte, dass Sorgfalt angewandt wurde, nichts unbeachtet zu lassen, was die Sicherheit der Anwendung der Instrumente vermehren konnte; wohin unter Anderen die möglichst vortheilhafte Einrichtung der Absehen gehörte, vermittelst welcher sie auf die zu beobachtenden Gestirne gerichtet wurden. Um die Gefahr von Fehlern, die in der Verfertigung seiner Instrumente begangen sein mögten, zu vermindern, wandte Tycho oft mehrere gleichartige an.

Sowohl der Landgraf von Hessen, als Tycho bestimmten die Oerter zahlreicher Fixsterne, und lieferten Verzeichnisse davon, deren Genauigkeit weit grösser war, als die der früheren. Tychos Beobachtungen der Sonne und der Planeten übertreffen die früheren in zwei gleich wichtigen Eigenschaften, in Vollständigkeit und Genauigkeit. Was er sonst noch durch Beobachtungen zu erforschen beabsichtigte, und was ihn diese, ohne dass er es gesucht hätte, lehrten, wird später, am geeigneten Orte, erwähnt werden können; hier aber muss von den Erfolgen die Rede sein, welche die Sonnen- und Planetenbeobachtungen Tychos, bald nach seinem Tode herbeiführten. Johann Kepler (geb. 1571, gest. 1631), der Tychos

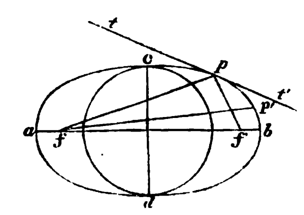
letztes Jahr mit ihm in Prag verlebte und ihn bemühet fand, Nutzen für die Astronomie aus seinen Beobachtungen zu ziehen, konnte sich keine wichtigere Aufgabe stellen, als den Schatz zu heben, der darin verborgen war. Er versuchte also, die unbestimmten Grössen der Copernicanischen allgemeinen Planetentheorie, der Bewegung jedes Planeten so angemessen festzusetzen, dass zwischen den aus seiner (dadurch erlangten) besonderen Theorie hervorgehenden Oertern an der Himmelskugel, und den beobachteten, kein Unterschied übrig bliebe, welcher die von Tycho verengten Unsicherheitsgrenzen der letzteren überschritte. Dieser Versuch gelang für die Bewegung der Erde; aber er mislang für die Bewegung des Mars. Nach jahrelanger vergebener Anstrengung überzeugte sich Kepler von der Unmöglichkeit, den Beobachtungen Tychos durch die Annahme der Bewegung des Mars in einem, der Sonne excentrischen Kreise genügezuleisten; er überzeugte sich, dass bis auf 8 Minuten steigende Unterchiede zwischen dieser Annahme und den Beobachtungen nicht vermieden werden konnten. So wenig bedeutend Unterschiede von dieser Grösse, vergleichungsweise mit denen, an welche man früher gewöhnt war, auch erscheinen mogten, so war doch die Unsicherheit der Tychonischen Beobachtungen noch weniger bedeutend: dem Grade der Sicherheit, zu welchem diese gelangt waren, war also der Besitz des Beweises der Unrichtigkeit der Annahme der Kreisbewegung des Mars zu verdanken.

Hierdurch verwandelte sich die Kepler vorliegende Aufgabe in eine andere: er musste die als unrichtig anerkannte allgemeine Theorie der Bewegung durch eine andere ersetzen, die nicht von dem Widerspruche der Beobachtungen getroffen wurde. War grosse Arbeit nöthig gewesen, um zu dieser neuen Aufgabe zu gelangen, so wurden nun nicht allein grosse Arbeit, sondern auch Kraft zum Erfinden und Scharfsinn zum Auszeichnen der mit dem Stempel der Natur geprägten Wahrheit gefordert. Denn die Aufgabe, die Erklärung einer Erscheinung zu entdecken, ist, ihrem Wesen nach, so lange eine unbestimmte, als ihre Auflösung nicht aus einem höheren Principe abgeleitet werden kann: die Lehre von der Bewegung, welche dieses Princip hätte sein sollen, war zu Keplers Zeit noch nicht vorhanden. Aber Kepler war den Schwierigkeiten gewachsen: er fand, dass Tychos Beobachtungen durch die Annahme erklärt werden konnten, dass der Planet Mars sich auf dem Umfange einer Ellipse bewege, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht; dass diese Bewegung einem sehr einfachen Gesetze gemäss vor sich gehe, dem Gesetze, dass die Zeit, welche der Planet anwendet, einen Bogen seiner Bahn zu durchlaufen, dem Raume verhältnissmässig ist, welcher von dem Bogen und den von der Sonne nach seinen beiden Endpunkten gezogenen geraden Linien eingeschlossen wird. *) — Nachdem diese Entdeckung ge-

*) Ich habe schon Gelegenheit gehabt zu sagen (S. 461), dass die Ellipse als ein Kreis angesehen werden kann, der in einer

lungen war, trat die Frage hervor, ob auch die Bewegungen der Erde und aller übrigen Planeten auf gleiche Art erklärt werden können? — Glücklicherweise waren Tychos Tagebücher reich genug, um Kepler in den Stand zu setzen, sie zu bejahen. Alle Planeten fügten sich demselben Gesetze; auch die, deren Ellipsen sich weniger von einem Kreise unterscheiden als die des Mars, die daher den Unterschied zwischen der älteren Annahme und der neuen Entdeckung weniger erheblich hervortreten lassen, und deren Beobachtungen, abgesondert untersucht, nicht zureichend gewesen sein

Richtung mehr oder weniger verlängert worden ist, z. B. *a b c d*. Der in dieser Richtung liegende (grösste) Durchmesser *a b* heisst die grosse, der auf ihn senkrechte (kleinste) *c d* die kleine Axe der Ellipse. Diese krumme Linie hat eine merkwürdige Eigenschaft: wenn gerade Linien von zwei, auf der grossen Axe, in gleicher Entfernung von dem Mittelpunkte liegenden bestimmten Punkten *f*, *f'*, nach einem beliebigen Punkte *p* der Ellipse gezogen werden, so durchschneiden diese Linien *f p*, *f' p* ihren Umfang immer in einem gleichen Winkel; oder, wenn *t p t'* die Ellipse in *p* berührt, so sind die Winkel *f p t* und *f' p t'* einander gleich. Wenn also von einem dieser Punkte Strahlen ausgehen, so werden sie sämmtlich, an dem Umfange der Ellipse, nach dem anderen zurückgeworfen, so dass sie sich hier durchschneiden, und dadurch die Benennung Brennpunkte rechtfertigen. — Die Keplersche Entdeckung verlangt, dass jeder Bogen *p p'* in einer Zeit durchlaufen werde, welche dem Raume *p f p'* genau verhältnissmässig ist, wenn *f* der von der Sonne eingenommene Brennpunkt ist. — Alles dieses gilt von jeder Ellipse, sowohl von der von dem Kreise kaum zu unterscheidenden, als von der am weitesten ausgedehnten.



würden, die Nothwendigkeit der letzteren unzweifelhaft zu machen. — Diese Entdeckung gehört zu den wichtigsten, auch in ihren Folgen reichsten, die je gemacht worden sind; eine zweite, nicht minder wichtige, die gleichfalls Keplers Andenken verherrlicht, darf ich hier noch unerwähnt lassen.

Keplers Rudolphinische Tafeln — aus Dankbarkeit gegen den Kaiser Rudolph II. so genannt — bringen die Resultate der Anwendungen seiner Theorie auf die einzelnen Himmelskörper, in eine Form, welche die Berechnung ihrer Oerter möglichst erleichtert. Indem dieses Werk die Oerter der Himmelskörper mit einer Sicherheit ergiebt, welche von der der Beobachtungen Tychos nicht übertroffen wird, erschöpft es Alles, was die Astronomie bis dahin aufzuweisen hatte. Die Hoffnung auf neue Fortschritte schien auf neuer Vermehrung der Sicherheit der Beobachtungen zu beruhen. Auch wurde diese nicht ohne Erfolg versucht, vorzüglich durch Picard (geb. 1620, gest. 1682), Joh. Dom. Cassini (geb. 1625, gest. 1712) und Johann Hevel (geb. 1611, gest. 1687). Aber die glückliche Vereinigung der fortschreitenden Vervollkommnungen zu einem, die Beobachtungskunst Tycho de Brahes beträchtlich übertreffenden Ganzen, blieb Flamsteed überlassen, von dem später die Rede sein wird. Hevels Beobachtungen sind zahlreich, ein würdiger Schluss des von Tycho Angefangenen.

Die dritte Periode der Astronomie fängt mit Newton (geb. 1643, gest. 1727) an, der sie mit der Frage nach der Ursache der den Keplerschen Ge-

setzen gemässen Bewegung der Planeten eröffnet. Als diese Ursache erkannte er eine Kraft, mit welcher die Sonne die Planeten anzieht, und zwar desto stärker anzieht, je näher sie ihr sind: Planeten, welche doppelt, dreimal, viermal ... so weit entfernt sind als ein anderer, erfahren ein Viertel, ein Neuntel, ein Sechszehntel ... der Kraft die dieser erfährt; allgemein ausgesprochen, ist die Kraft in dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung des sie erfahrenden Planeten von der Sonne. Wie dieses Gesetz der anziehenden Kraft der Sonne, aus der von Kepler erkannten Art der Bewegung der Planeten hervorgeht, darf hier noch unerörtert bleiben; aber ich darf nicht unterlassen, schon hier zu sagen, dass Newton die Anziehung nicht etwa als eine der Sonne besonders eigenthümliche, sondern als eine allgemeine Eigenschaft aller Materie erkannte; dass er sich berechtigt fand auszusprechen, dass jeder Körper, seiner Masse verhältnissmässig, eine dem angeführten Gesetze folgende Anziehungskraft äussert.

Wenn man die Massen der Sonne und der Planeten, so wie auch die Oerter im Raume kennt, wo die letzteren sich jederzeit befinden, so kennt man damit die Grösse und Richtung jeder der Anziehungen, die einer der Planeten jederzeit erfährt. Da er sich frei bewegen kann, so bewegt er sich so, wie diese Anziehungen, in Verbindung mit seinem Orte und dem Zustande seiner Bewegung zu einer bestimmten Zeit, erfordern. Die Bestimmung seiner Bewegung verwandelt sich dann in eine Aufgabe, welche der Lehre

von der Bewegung anheimfällt, die, wie wir wissen, alle ihre Aufgaben aufzulösen die Mittel besitzt. Offenbar ist diese Bewegung verschieden von der, die der Planet haben würde, wenn er allein der Anziehung der Sonne folgte. Denkt man sich den Planeten und alle übrigen, an den Oertern im Raume, die sie zu einer bestimmten Zeit einnehmen; ferner die Oerter der letzteren zu der Zeit wenn der erstere, durch Vollendung eines Umlaufes, wieder gleiche Stellung zur Sonne erlangt hat, so wird anschaulich, wie die Kräfte, welche am Anfange und während der Dauer des ersten Umlaufes auf ihn wirken, von denen verschieden sind, die er am Anfange und während der Dauer des zweiten erfährt. Seine Bewegung während jedes seiner Umläufe wird also auch verschieden sein; indem sie von den veränderlichen Stellungen der übrigen Planeten abhängt, kann sie nicht einem einfachen, diese gar nicht berücksichtigenden Gesetze folgen.

Ein solches Gesetz war aber das von Kepler aus Tychos Beobachtungen der Planeten abgeleitete. Damit kein Widerspruch zwischen diesem Zeugnisse der Beobachtungen und der eben dargestellten Folge der Newtonschen Lehre entsteht, ist nothwendig, entweder dass die allgemeine Anziehungskraft der Körper aufgegeben, und statt ihrer nur die der Sonne zugegeben wird; oder dass die Störungen der aus der letzteren hervorgehenden Bewegung eines Planeten, durch die Anziehungen der übrigen, nicht gross genug waren, um sich nicht in der Unsicherheitsgrenze der Tychonischen Beobachtungen zu verbergen. Es wa-

ren zwar unabweisliche Gründe (die wir in der Folge kennen lernen werden) für die allgemeine Anziehung vorhanden; aber dennoch musste eine Vermehrung der Sicherheit der Beobachtungen wünschenswerth werden, welche möglich machte, entweder die von Newtons Lehre geforderten Störungen der einfachen Keplerschen Regel, am Himmel nachzuweisen, oder die Behauptung ihres Nichtvorhandenseins, und damit einen Widerspruch gegen jene Lehre zu rechtfertigen. — Indessen hatte die Beobachtungskunst, schon vor dieser Aufforderung durch Newtons Lehre, Fortschritte gemacht, und gleichzeitig mit dieser, gelangte sie zu einem Zustande, der den, in welchen Tycho de Brahe sie versetzt hatte, eben so weit übertraf, als dieser den früheren.

Dieses war das Verdienst Johann Flamsteed's (geb. 1646, gest. 1719), des ersten Astronomen der Sternwarte, welche König Carl II. in Greenwich, auf einem Hügel erbauete, von welchem herab der Wissenschaft, von 1676 bis jetzt, fast ununterbrochen ein Schatz von Beobachtungen zugeströmt ist. Von Flamsteed an sehen wir ein neues Princip der Beobachtung der Rectascensionsunterschiede der Gestirne geltend gemacht: von den beobachteten Unterschieden ihrer Durchgangszeiten durch die Ebene des Meridians wird auf ihre Rectascensionsunterschiede gefolgert. Die Uhr wird nun ein wesentlicher Theil des Apparats einer Sternwarte; ihr gleichförmiger Gang stellt die gleichförmige Drehung der Erde dar. Wenn er so regulirt ist, dass er während der Zeit

einer ganzen Drehung, also während eines Sternentages, 24 Stunden beträgt, so zeigt jede ihrer Stunden, dass die Drehung um ein Vierundzwanzigstel der ganzen von 360 Grad, also um 15 Grad fortgeschritten ist; jede Minute der Uhr entspricht dem Sechszigtel dieser 15 Grad, oder 15 Minuten; jede Secunde der Uhr eben so 15 Secunden. Wenn daher die zwischen den Durchgängen zweier Gestirne durch den Meridian — ihren Culminationen — verstrichene Zahl von Stunden, Minuten und Secunden beobachtet ist, so lehrt sie den Winkel kennen, um welchen die Ebene des Meridians sich gedreht hat, um von dem einen zu dem anderen zu gelangen, welcher Winkel ihr Rectascensionsunterschied ist. Ein Instrument, welches zur Messung der Entfernungen der Gestirne vom Scheitelpunkte eingerichtet, und so aufgestellt ist, dass seine Absehenslinie sich in der Ebene des Meridians bewegt, ist, in Verbindung mit der Uhr, nun hinreichend zur Bestimmung der Declinationen und der Unterschiede der Rectascensionen. Das von Flamsteed angewandte Instrument dieser Art war ein, an einer in der Ebene des Meridians aufgeführten Mauer befestigter grosser Quadrant, ein Mauerquadrant. Sein beweglicher, auf die Gestirne zu richtender Radius, trug nicht mehr die früher üblichen Absehen, sondern ein Fernrohr, in dessen Brennpunkte ein horizontaler und ein verticaler feiner Faden eingespannt waren, die das Ocular, zugleich mit dem zu beobachtenden Gestirne deutlich zeigte. Diese, dem französichen Astronomen Azout gehörende Anwen-

dung des Fernrohrs, gewährt den grossen Vortheil, den Beobachtungen der Richtung auf ein Gestirn, und der Zeit seines Durchganges durch den Meridian, weit grössere Genauigkeit zu geben, als ihnen durch das blosse Auge gegeben werden könnte; auch macht sie möglich, kleinere Sterne als das unbewaffnete Auge zu sehen vermag, so wie auch Planeten und hellere Fixsterne am Tage zu beobachten. Flamsteeds Apparat war nicht allein mit Umsicht angeordnet, sondern auch mit aller Vollendung ausgeführt, welcher die mechanische Kunst der damaligen Zeit fähig war. — Der von ihm beabsichtigte und durch seine Massregeln herbeigeführte Erfolg, war eine grosse Vermehrung der Sicherheit der Beobachtungen: während der mittlere Fehler einer Beobachtung von Tycho etwa eine Minute betragen mag, kann er für eine von Flamsteed auf ein Sechstel davon, oder 10 Secunden, geschätzt werden.

Bis zu Newton zeigt sich die Wechselwirkung der Fortschritte der astronomischen Beobachtungen und der Astronomie so einfach, dass jeder Fortschritt der einen, einen der anderen zur unmittelbar hervortretenden Folge hat. Durch die Entdeckung der allgemeinen Anziehungskraft der Materie, werden alle Bewegungen der Weltkörper der Gegenstand Einer Aufgabe der mathematischen Lehre von der Bewegung, die Newton selbst so weit ausbildet, dass sie sich an die Auflösung dieser umfangreichen Aufgabe wagen kann. Je weiter sich ihre Auflösung entwickelt, desto fühlbarer wird das Bedürfniss, die Genauigkeit

der Beobachtungen fortschreitend zu vermehren; aber ihre Vermehrung wird nun nicht mehr die Grundlage einer neuen Erklärung des Weltsystems, sondern die Bedingung der vollständigeren Erkenntniss der Folgen der schon gefundenen. Ehe ich unternehmen kann, die in dieser Erkenntniss gemachten Fortschritte zu entwickeln, muss ich darzustellen versuchen, wie ihre Bedingung, durch die auf Flamsteed folgenden Beobachter erfüllt worden ist.

Zuerst, und glänzend unter ihnen, tritt James Bradley (geb. 1692, gest. 1762) hervor. — Um den Fortschritt der Beobachtungskunst, den wir ihm verdanken, näher bezeichnen zu können, muss ich vorher von den Beobachtungen im Allgemeinen reden. Ich habe schon bemerkt, dass eine astronomische Beobachtung nie den Ort eines Gestirns an der Himmelskugel, sondern immer nur eine Annäherung an ihn ergiebt. Wenn man die Ursachen aufsucht, die dieses zur Folge haben, so findet man, dass selbst in sehr einfach erscheinenden Beobachtungsarten, viele derselben zusammenwirken; ein von der Messung der Zenithdistanz eines Sterns, mittelst eines, in der Ebene des Meridians befestigten Mauerquadranten, hergenommenes Beispiel wird dieses erläutern. Das sich um den Mittelpunkt der Theilungen seines Gradbogens drehende Fernrohr, muss zuerst auf den Stern gerichtet, d. h. so gestellt werden, dass die tägliche Bewegung das in ihm erscheinende Bild des Sterns, den im Brennpunkte horizontal ausgespannten Faden entlang führt. Dieses kann offenbar mit desto grösserer

Sicherheit bewirkt werden, je augenfälliger das Fernrohr eine Abweichung von seiner beabsichtigten Richtung hervortreten lässt: während ein nur 10 Mal vergrösserndes, vielleicht eine 5 Secunden betragende Entfernung des Sterns, von der Mitte des Fadens unbemerkbar erscheinen lässt, seine Richtung also so viel unsicherer bleibt, wird ein 100 Mal vergrösserndes diese Unsicherheit auf den zehnten Theil ihrer Grösse, oder auf eine halbe Secunde vermindern. Die Anwendung eines möglichst starken Fernrohrs wird also das Mittel sein, die Unsicherheit der Richtung auf den Stern zu verkleinern, aber selbst das stärkste Fernrohr wird sie nicht ganz vernichten. Diese, aus der Unvollkommenheit des Sehens hervorgehende Unsicherheit der Richtung wird durch das Zittern der Sterne vermehrt, welches aus — selten fehlenden — Bewegungen der Luft entsteht, und verursacht, dass ihre Bilder im Fernrohre nicht ruhig dem Faden folgen, sondern sprungweise, einige Secunden bald über, bald unter demselben erscheinen, so dass ihm nur eine mittlere, mehr oder weniger unbestimmt bleibende Stellung auf einen Stern gegeben werden kann. — Die Richtung des Fernrohrs muss dann auf dem Gradbogen abgelesen werden. Dieser ist, durch feine — gewöhnlich auf einem, in ihn eingelegten Silberstreifen gezogene — Striche, von Grad zu Grad, und jeder Grad wieder in kleinere Theile, z. B. von 5 zu 5 Minuten, eingetheilt; am Fernrohre fest ist ein Zeiger, dessen Ort auf dem Gradbogen, durch Messung seiner Entfernung von dem nächsten Striche der Theilung,

bestimmt werden muss, damit die Richtung bis auf einzelne Minuten und Secunden bekannt werde. Zu dieser Messung sind verschiedene Mittel angewandt worden, deren geeignetere ihr — der Ablesung — zwar grössere, nie aber vollständige Genauigkeit geben können, indem die Schärfe des — wenn auch mikroskopisch verstärkten — Sehens, auch hier ihre Grenze findet. Wenn die Wärme in der Sternwarte nicht allenthalben gleich ist, sondern, wie gewöhnlich, von unten nach oben zunimmt, so wird das Instrument oben mehr als unten ausgedehnt, und es erfährt eine Formänderung, welche Aenderungen der Oerter der Theilstriche, also Theilungsfehler von (zugleich mit ihrer Ursache) veränderlicher Grösse, hervorbringt, und dadurch gleichfalls einen Fehler der abgelesenen Richtung erzeugt. Die bis jetzt erwähnten Fehlerursachen wirken zufällig, bald mehr, bald weniger, bald in diesem, bald in jenem Sinne, auf eine Beobachtung ein. Andere zeigen sich bei jeder Wiederholung einer Beobachtung in gleicher Grösse. Zu diesen gehören Fehler in der Auftragung der Theilstriche; nicht vollständiges Zusammenfallen der Mittelpunkte der Theilung und der Drehung des Fernrohrs; Biegungen, welche die metallenen Körper des Instruments und des Fernrohrs durch ihr eigenes Gewicht erfahren u. s. w. — Auch muss hieher der Fehler gezählt werden, der in der Ermittelung des Punkts der Theilungen, welcher der Richtung des Fernrohrs nach dem Scheitelpunkte entspricht, begangen werden kann; denn dieses ist der Punkt, von

welchem an die Ablesung gezählt werden muss, damit sie die Entfernung von dem Scheitelpunkte werde.

Die zufällig wirkenden Fehlerursachen haben zur Folge, dass sich zwischen Wiederholungen einer Beobachtung Unterschiede finden. Die durch häufige Wiederholungen erkannte mittlere Grösse dieser Unterschiede giebt ein Urtheil über die grössere oder kleinere Vollständigkeit des Erfolges, welchen die Beschaffenheit des Apparats und die Aufmerksamkeit des Beobachters gewährt haben. Das mittlere Resultat wiederholter Beobachtungen wird durch sie desto weniger entstellt werden, je grösser die Zahl der Wiederholungen, und je begründeter damit die Erwartung wird, dass die zufälligen Fehler theils in dem einen Sinne, theils in dem entgegengesetzten begangen worden sind. Die beständig wirkenden Fehlerursachen stören dagegen nicht die Uebereinstimmung der Beobachtungen untereinander, sondern entstellen in gleicher Grösse das Resultat einer einzelnen Beobachtung und das mittlere jeder Zahl von Beobachtungen. Ist z. B. der Theilstrich, von welchem die 100 Mal wiederholte Messung der Zenithdistanz eines Sterns jedesmal ausgegangen ist, 5 Secunden von dem Orte auf dem Gradbogen, wo er sich befinden sollte, entfernt, so wird das mittlere Resultat der 100 Beobachtungen dadurch um 5 Secunden entstellt, während die zufälligen Fehler vielleicht so klein sind, dass keine einzige derselben sich um 2 Secunden von diesem entstellten Resultate entfernt.

Offenbar sind die beständigen Fehler den Resultaten weit gefährlicher als die zufälligen, deren Einfluss jedenfalls durch häufige Wiederholung der Beobachtungen vermindert werden kann. Sorgfalt in der Richtung des Fernrohrs und ihrer Ablesung ist zwar eine der Eigenschaften eines guten Beobachters; aber die, leicht und von Jedem zu erlangende, Gewöhnung daran ist nicht der Grund seines Ruhms. Dieser geht von seiner vollständigen Erkenntniss des jederzeit vorhandenen Bedürfnisses der Astronomie aus: er gebührt seiner Fähigkeit, entweder die zur Befriedigung desselben erforderlichen Massregeln richtig zu wählen, oder vorhandene ihm angemessen anzuwenden — seinem Scharfsinne in der Entdeckung jeder Ursache eines beständigen Fehlers, in der Erfindung der Mittel, wodurch Ort und Grösse ihres Einflusses an den Tag gelegt, und das Resultat einer Beobachtung davon völlig befreiet werden kann. In diesem Sinne genommen, gebührt der Ruhm des Beobachters nicht Jedem, der ein Fernrohr gerichtet und seine Richtung abgelesen hat, aber er gebührt Tycho de Brahe, Flamsteed, Bradley.

Bradley, vorbereitet durch eine, von 1725 an beobachtete, in ihren Folgen höchst merkwürdig gewordene Reihe von Zenithdistanzen von Sternen, auf welche ich später zurückkommen werde, kam 1750 auf die Sternwarte in Greenwich. Es war ihm gelungen, jenen Beobachtungen einen so hohen Grad von Genauigkeit zu geben, dass der zufällige Fehler jeder derselben gewöhnlich innerhalb einer Secunde

blieb. Diese Genauigkeit wurde durch die Natur der Frage, die durch seine Beobachtungen beantwortet werden sollte, gefordert. Um sie zu erlangen, hatte er sich auf die Beobachtung von Sternen beschränkt, welche in kleinen, wenige Grade nicht überschreitenden Zenithdistanzen culminirten; denn ein nur in so geringer Entfernung von dem Scheitelpunkte anwendbares Instrument durfte nur einen, sich über wenige Grade erstreckenden Gradbogen besitzen, dem ein desto längerer, der einzelnen Secunde eine hinreichende Grösse verleihender Halbmesser gegeben werden konnte, während die eben so grosse Länge des Fernrohrs die Sicherheit seiner Richtung auf den Stern vermehrte, und der Bau des ganzen Apparats so einfach wurde, dass ihm verschiedene, sonst vorhandene Fehlerursachen ganz fehlten.

Dieselbe, oder fast dieselbe Genauigkeit, welche diese früheren Beobachtungen besassen, eignete Bradley den späteren an, welche er auf der Königlichen Sternwarte in Greenwich machte. Durch einen berühmten Künstler der Mechanik, Bird, liess er einen Mauerquadranten von 8 Fuss Halbmesser verfertigen, der die ähnlichen Instrumente früherer Zeit, in jeder Hinsicht weit übertraf, und in der That solche Vollendung besass, das er und ähnliche, von demselben Künstler für andere Sternwarten verfertigte Quadranten, erst in den letzten Decennien ihre Stellen anderen Instrumenten eingeräumt haben, deren Vorzug vielleicht eben so wohl in grösserer Leichtigkeit ihrer Prüfungen, als in grösserer Schärfe ihrer Leistungen zu suchen

ist. Die Bauart des Bird'schen Mauerquadranten, die Vollendung seiner Ausführung, die Güte seines Fernrohrs, die Richtigkeit seiner Eintheilung — wirkten zusammen, um den durch seine Vermittelung erlangten Beobachtungen der Zenithdistanzen, eine wenig zu wünschen lassende Genauigkeit zu geben. Die Bestimmung des Anfangpunkts dieser Zenithdistanzen erhielt Bradley, indem er Beobachtungen in der Nähe des Scheitelpunkts culminirender Sterne, mit ihren wahren Zenithdistanzen verglich, die er mittelst des zu seinen früheren, schon erwähnten, Beobachtungen angewandten Instruments — des Zenithsectors — bestimmte. — Zur Beobachtung der Durchgangszeiten der Gestirne durch den Meridian wandte Bradley das von dem berühmten dänischen Astronomen Olaus Römer (geb. 1644, gest. 1710) erfundene Mittagsfernrohr an; ein, in der Mitte seiner Länge, mit einer, auf seiner Absehenslinie senkrechten Drehungsaxe verbundenes Fernrohr, dessen, diese Linie bestimmender Verticalfaden also den Meridian beschreibt, wenn die Enden der Axe, zwischen zwei festen Steinpfeilern, so in Lagern ruhen, dass sie genau horizontal und senkrecht auf den Meridian ist. Dieses Instrument ist geeignet, den Meridian ungleich sicherer zu beschreiben, als das Fernrohr des Mauerquadranten, welches Flamsteed zu demselben Zwecke benutzte; seine beliebig lange Drehungsaxe, die Leichtigkeit ihre Horizontalität zu erlangen und sie auch in ihren Lagern umzulegen, endlich seine grosse Einfachheit, geben ihm Vorzüge, welche ihm

seine Stelle in den Sternwarten für immer sichern. Das von **Bradley** angewandte Mittagsfernrohr hatte, wie das des Quadranten, 8 Fuss Länge und sein Verfertiger **Bird** unterliess nichts, was die Sicherheit seiner Leistungen vermehren konnte. Die Gleichmässigkeit des Ganges der von **Bradley** zur Messung der Rectascensionsunterschiede angewandten Uhr lässt nichts zu wünschen übrig.

Dieses waren die Mittel, durch welche **Bradley** der Astronomie einen Grund zu legen beabsichtigte, der fester, den Forderungen der sich entwickelnden **Newton**schen Lehre angemessener sein sollte, als der war, worauf sie bis dahin beruhete. Von 1750—1762 machte er auf der königlichen Sternwarte in Greenwich über Sechszigtausend Beobachtungen der Fixsterne, der Sonne, der Planeten, des Mondes, die er so anzuordnen verstand, dass sie genügend wurden, nicht allein den Zustand des Himmels für seine Zeit, sondern auch alle Bestimmungen kennen zu lehren, welche man kennen muss, um von den an dem Quadranten und der Uhr abgelesenen Zahlen, zu den Oertern der Gestirne an der Himmelskugel gelangen zu können. Diese unerschöpfliche Beobachtungsreihe ist ein in sich abgeschlossenes Ganzes; mit ihr fangen die Thatsachen an, auf welche spätere Astronomie sich stützt und stützen wird. — Gleichzeitig mit **Bradley** waren zwei grosse Astronomen, **Tobias Mayer** und **Lacaille**, deren kundige Bemühungen um die Beobachtung des Himmels aber von ihren Apparaten weniger unterstützt wurden. Nach seinem

Tode blieb in Greenwich, 48 Jahre lang, Alles in dem Zustande, in welchem er es verlassen hatte; sein Nachfolger Maskelyne setzte die Beobachtungen ununterbrochen fort, aber während er vielleicht noch grösseren Fleiss als sein Vorgänger anwandte, ihre zufälligen Fehler zu vermindern, unterliess er, sich gegen die gefährlicheren, beständigen zu schützen; wovon die Folge war, dass seine lange Reihe von Beobachtungen, nicht selbstständig, sondern erst dann der Wissenschaft ganz nutzbar wurde, als spätere Beobachtungsreihen, verbunden mit den früheren, das Mittel gaben, sie von ihren beständigen Fehlern zu befreien.

Vom Jahre 1791 an erwuchs der Wissenschaft neue Hülfe aus der Sternwarte, welche der König beider Sicilien, Ferdinand III., in Palermo, für Joseph Piazzi gründete. Der talentvolle englische Künstler Ramsden versah sie, statt des Mauerquadranten, mit einem ganzen Kreise. Im Wesentlichen kann dieses Instrument als ein Mittagsfernrohr, auf dessen Axe ein eingetheilter Kreis fest ist, betrachtet werden; eine dem Fernrohre gegebene Richtung wird durch die Ablesung zweier, einander gerade gegenüberstehender, mit einem der Lager der horizontalen Drehungsaxe festverbundener Zeiger, auf dem Gradrande des Kreises erkannt; diese Lager sind nicht fest an zwei Steinpfeilern, sondern an Säulen, welche auf einer Unterlage von Metall stehen, die um eine lothrechte Axe gedreht werden kann, und deren Drehung möglich macht, die Ebene des Kreises in

jede lothrechte Ebene zu bringen, so dass die Absehenslinie des Fernrohrs, bei seiner Drehung um die wagerechte Axe, jeden beliebigen, durch den Scheitelpunkt gehenden grössten Kreis — Verticalkreis — beschreiben kann; woraus hervorgeht, dass das Fernrohr in zwei einander entgegengesetzten Wendungen des Kreises, auf einen Stern gerichtet werden kann, ebensowohl wenn die eingetheilte Seite des Kreises rechts, als wenn sie links gewandt ist. — Ein solcher ganzer Kreis hat verschiedene Vortheile vor einem Mauerquadranten voraus. Wenn das Fernrohr in beiden Wendungen des Instruments auf einen Stern gerichtet wird, so sind die, dann unter einem der Zeiger befindlichen Punkte des Gradrandes, gleich weit von dem Punkte entfernt, der der Richtung nach dem Scheitelpunkte entspricht, aber sie liegen auf entgegengesetzten Seiten desselben; woraus hervorgeht, dass der Bogen des Kreises zwischen den beiden abgelesenen Punkten, die doppelte Entfernung des Sterns von dem Scheitelpunkte ist, diese Entfernung also durch beide Beobachtungen bekannt wird, ohne dass dazu die Kenntniss des der Richtung des Fernrohrs nach dem Scheitelpunkte entsprechenden Punkts erforderlich würde. Ferner ist das mittlere Resultat der Ablesungen an beiden, einander gegenüberstehenden Zeigern, frei von einer Excentricität des Kreises beziehungsweise auf seine Drehungsaxe. Hierdurch verschwinden zwei der Ursachen, welche zu dem beständigen Fehler einer Beobachtung mit dem Mauerquadranten beitragen können; auch wird

die Ablesung sicherer, indem sie zweimal — an den gegenüberstehenden Zeigern — gemacht und ihr mittleres Resultat genommen wird. — Diese, den ganzen Kreisen eigenthümlichen Vortheile, erscheinen so werthvoll, dass Instrumente dieser Art von kleineren Halbmessern, den Quadranten von grösseren vorgezogen werden, obgleich ein gleich grosser Fehler, sowohl des Orts eines Theilstrichs, als auch einer Ablesung, bei dem kleineren Instrumente einen grösseren Einfluss erhält, als bei dem grösseren; der Halbmesser von Piazzis Kreis z. B. ist etwa ein Drittel so gross als der von Bradleys Quadranten, nämlich 2 Fuss 6 Zoll. Mit diesem Kreise und einem, gleichfalls von Ramsden verfertigten Mittagsfernrohr, machte Piazzi, während 25 Jahren, eine unglaubliche Menge von Beobachtungen, deren vorzüglichster Zweck die Bestimmung der Oerter von 7646 Fixsternen war.

Beobachtungen von der Genauigkeit derer, die von Bradley an gemacht werden konnten, mussten, wenn es gelang, sie vollständig mit den Folgen der von Newton gelehrten allgemeinen Anziehung zu vergleichen, eine scharfe Prüfung der Richtigkeit dieser Lehre, und, im Falle der Bestätigung derselben, eine befriedigende Kenntniss der Bewegungen der Himmelskörper gewähren. Für jetzt wird es hinreichen, zu wissen, dass die mathematische Entwickelung der Folgen, welche die allgemeine Anziehungskraft in den Bewegungen der Himmelskörper äussert, von der Mitte des vorigen Jahrhunderts an, die Aufgabe geworden war, welcher sich die Kräfte der Geometer

vorzugsweise zuwandten, und dass einer der grössten von ihnen, Laplace, sich gegen das Ende des Jahrhunderts im Stande fand, ein grosses und vollständiges Werk, welches den Titel Mécanique Céleste hat und verdient, anzufangen, dessen fünfter und letzter Band 1825 erschienen ist. Die Verbindung der dadurch erlangten Vollständigkeit der mathematischen Kenntniss der Bewegungen, mit der Genauigkeit der vorhandenen Beobachtungen, brachte nun einen Zustand der Astronomie hervor, welcher zu der Ueberzeugung führte, dass ihr weiteres Fortschreiten durch fernere Vermehrung der Sicherheit der Beobachtungen bedingt werde, vorzüglich durch die Anwendung von Mitteln, welche vollständige Sicherheit gegen beständige Fehler gewähren können. Diese Ueberzeugung hat zu der Beobachtungskunst der jetzigen Zeit geführt, deren Hauptmomente ich jetzt darzustellen versuchen werde.

Jm Jahre 1812 wurde ein, von dem berühmten Künstler Troughton verfertigter Meridiankreis auf der königlichen Sternwarte in Greenwich aufgestellt. Seine Einrichtung ist von der des Piazzischen Instruments verschieden: die an einer Steinmasse festen Lager seiner Axe, weisen dieser unveränderlich die auf der Ebene des Meridians senkrechte Richtung an, so dass die Ebene des Kreises und der Bewegung des mit ihm fest verbundenen Fernrohrs, stets die des Meridians ist; Kreis und Fernrohr sind nicht in der Mitte, sondern an einem Ende der Drehungsaxe befindlich, wodurch auf die Umlegung der-

selben in ihren Lagern Verzicht geleistet wird; die Ablesung geschieht an sechs, paarweise einander gegenüberstehenden, an der Steinmasse festen mikroskopischen Zeigern. Diese Einrichtung beabsichtigt die unmittelbare Messung der Entfernungen der Gestirne von dem Pole; nicht die Zusammensetzung derselben aus ihren, abgesondert zu messenden beiden Theilen, nämlich den Entfernungen sowohl des Sterns, als auch des Pols von dem Scheitelpunkte. Wenn das Fernrohr in beiden Culminationen eines Fixsterns — über und unter dem Pole — auf ihn gerichtet, und beidemale die Richtung abgelesen wird, so ist (vorausgesetzt, dass die Zeiger, durch die Steinmasse, an welcher sie fest sind, vor Veränderungen ihrer Lage gegen die Ebene des Horizonts gesichert werden) die halbe Summe der beiden Ablesungen die der Richtung des Fernrohrs nach dem Pole entsprechende; ihr Unterschied von der Ablesung der Richtung des Fernrohrs auf ein Gestirn, dessen Ort an der Himmelskugel bestimmt werden soll, ist die gesuchte Entfernung des letzteren vom Pole, deren Ergänzung zu 90 Grad seine Declination ist. Diese wird also bekannt, ohne dass der Scheitelpunkt dabei in Betracht kommt: die Voraussetzung der Unveränderlichkeit der Stellung der Zeiger gegen den Horizont, macht die Anwendung eines Mittels unnöthig, wodurch die Richtung des Fernrohrs nach dem Scheitelpunkte erkannt werden könnte; ihre Verfolgung wird als eine Vervollkommnung der Beobachtungskunst anzusehen sein, wenn sie grössere Sicherheit

gewährt, als die Bestimmung des Scheitelpunkts. Die Beobachtungen, die Pond mit dem Troughtonschen Meridiankreise machte, stimmen bewunderungswürdig, auch noch beträchtlich besser untereinander überein als die Piazzischen, so dass ihr mittlerer Fehler nur acht Zehntel einer Secunde beträgt; aber entscheidend für das Princip der ersteren ist dieses nicht, weil jenes Instrument mit grösserer Vollendung ausgeführt ist, auch durch seine sechs mikroskopischen Ablesungen einen grossen Vortheil vor den zweien des anderen voraus hat, seine grössere Wirkung also schon aus diesen Gründen erwartet werden müsste. — Zur Beobachtung der Durchgangszeiten der Gestirne durch den Meridian erwies sich dasselbe Instrument nicht genügend, wesshalb Pond sie mit einem, gleichfalls von Troughton verfertigten, grossen Mittagsfernrohre machte.

Ich habe die Künstler Bird, Ramsden, Troughton genannt, deren Leistungen Bedingungen der erfolgten Vervollkommnung der astronomischen Beobachtungen geworden sind; die erwähnten früheren Beobachtungen Bradleys wurden mit einem Zenithsector gemacht, der eine Frucht der Kunst Grahams war. Von Graham an tritt diese Kunst selbstständig auf, während früher die Astronomen nur Apparate verlangten, deren Verfeinerung noch nicht so gross war, dass diese sie hätte hervorrufen müssen. Die selbstständig gewordene Kunst hielt gleichen Schritt mit der Astronomie, der sie diente. In München erscheint mit dem Jahre 1804 Reichenbach, dessen grosse

Talente sich reich an Mitteln erweisen, die astronomischen Instrumente in allen ihren Theilen wesentlich zu vervollkommnen; er findet auch die Kunst, der Kreistheilung eine früher nicht erreichte Vollendung zu geben; er zieht Fraunhofer zu sich, der den Fernröhren die grösste Vollkommenheit zu verleihen weiss, indem er Wissenschaft und Kunst in gleich hohem Grade besitzt. Gleichzeitig mit den mechanischen und optischen Werkstätten Münchens, nach welchen die Blicke Aller gerichtet sind, die den Werth genauer Instrumente erkennen, zeigt sich in Hamburg Johann Georg Repsold, der die Möglichkeit noch grösserer Vollendung ahndet, und Mittel sucht, die grösste in jedem einzelnen Theile eines Instruments herbeizuführen. Später treten in Berlin Pistor und in Paris Gambey, in die Reihe der berühmtesten Künstler; auch behalten die Anstalten Münchens, nach dem Tode Reichenbachs und Fraunhofers ihr Bestehen; in Hamburg zeigen sich Repsolds Söhne als Erben, nicht allein der Apparate, sondern auch des eigenthümlichen Geistes ihres Vaters, den sie, in vielen und schönen Leistungen, gesteigert an den Tag legen. Es würde mich viel zu weit führen, wenn ich Alles aufzählen wollte, was aus der lebendigen Bewegung der erstarkenden Kunst hervorgegangen ist; aber ich muss der Reichenbachschen Meridiankreise erwähnen, welche, von 1820 an, auf mehreren Sternwarten der Astronomie nützlich geworden sind. Ein solches Instrument dient zugleich zur Beobachtung der Durchgangszeiten der Gestirne durch den Meridian

und ihrer Entfernungen von dem Pole oder Scheitelpunkte; es ist ein Mittagsfernrohr, auf dessen Axe ein Kreis fest ist; die Axe ruhet zwischen zwei Steinpfeilern in Lagern, die ihr die auf den Meridian senkrechte Richtung anweisen, und in welchen sie umgelegt werden kann; die Theilung des Kreises wird an vier, 90 Grad voneinander entfernten Zeigern abgelesen, deren unveränderliche Stellung gegen den Horizont, durch ein, die Richtung der Schwere bemerklich machendes Mittel — die Wasserwage — zur Zeit jeder Beobachtung hervorgebracht wird. Reichenbach fand sich, durch die gelungene Vergrösserung der Genauigkeit der Theilungen, berechtigt, die Halbmesser seiner Kreise, vergleichungsweise mit früheren Instrumenten, noch beträchtlich zu verkleinern, wodurch verschiedene, sich zugleich mit ihnen vermindernde Schwierigkeiten, mehr oder weniger vollständig vermieden wurden. Diese Instrumente können so angewandt werden, dass sie grössere Sicherheit gegen beständige Fehler gewähren, als die Troughtonschen Meridiankreise; die zufälligen Fehler der einzelnen Beobachtungen lassen sie aber grösser als diese, hauptsächlich weil ihre Ablesung weniger vollkommen eingerichtet ist. — Noch weit vollendeter als diese Instrumente, sind die Meridiankreise, die die Brüder Repsold den Sternwarten in Hamburg, Königsberg und Pulkowa neuerlich geliefert haben. Die Einsicht und Kunst des Meisters zeigt sich in ihrem festeren, schöneren Bau, in der allersorgfältigsten Ausführung, in der höchsten Steigerung der Sicherheit

ihrer Ablesungen. Die letztere ist so gross, dass der Ort jedes der mikroskopischen Zeiger, deren vier vorhanden sind, selten zwei Zehntel einer Secunde zweifelhaft bleibt, welche, auf der Theilung von anderthalb Fuss Halbmesser, etwa ein Achtzigtel der Dicke eines Menschenhaars betragen.

Nachdem ich die bewunderungswürdigen Fortschritte der Kunst dargestellt habe, welcher die Astronomie ihre Hülfsmittel verdankt, bleibt mir noch übrig, zu zeigen, was, zur Erlangung ihnen angemessener Beobachtungen, ausser ihrem Besitze und ihrer sorgfältigen Anwendung, noch erforderlich ist. Auf je grössere Genauigkeit ein Instrument Anspruch giebt, desto nothwendiger wird, dass der Beobachter Alles was seine Angabe entstellen kann, kennen und seinen Einfluss beseitigen lerne. Als die Theilungen des Instruments, die Stärke seines Fernrohrs, seine Ablesung ...... eine Beobachtung noch viele Secunden zweifelhaft liessen, würde es kaum ein Interesse gehabt haben, Mittel zu suchen, wodurch weit kleinere Einflüsse, z. B. Biegungen durch die Schwere, Wirkungen von Ungleichheiten der Wärme u. s. w., erkannt und aus den Resultaten weggeschafft werden können; wogegen dieselben Einflüsse, indem sie bei der jetzt erlangten Vollendung der Meridiankreise, so gross oder grösser sein können als die noch übrige Unsicherheit der Beobachtungen, diese in einem viel grösseren Verhältnisse als früher vermehren, und damit dem Erfolge der Vervollkommnung viel nachtheiliger entgegentreten würden.

Das Ziel der Beobachtungskunst, nämlich die Befreiung der beobachteten Oerter der Gestirne an der Himmelskugel, von jedem ihnen fremdartigen Einflusse, muss also desto vollständiger erreicht werden, je weiter die Kunst der Verfertigung der Instrumente fortschreitet. Obgleich der zu diesem Ziele führende Weg für jede andere Beobachtungsart, für jeden anderen Apparat, ein anderer ist, und daher der in jedem besonderen Falle zu wählende, nicht nach einer allgemeinen Vorschrift gefunden werden kann, so mag doch die Beschreibung des in einem Falle gewählten, hier eine Stelle finden. Indem sie zu beachtende Momente an den Tag legen wird, wird sie wenigstens das Ziel der Beobachtungskunst und ihre Wichtigkeit für die Astronomie anschaulich machen. Die — in der Zeit anstrengender Kriege erbauete und dadurch ihrem Stifter, Friedrich Wilhelm III., zu einem rühmenden Denkmale gewordene — Königsberger Sternwarte, besass anfänglich (1813) schwächere Instrumente, welchen aber 1820 ein Reichenbachscher Meridiankreis, und 1841 ein Repsoldscher an die Seite gesetzt wurde. Nur von den sich auf den letzteren beziehenden Massregeln werde ich reden, indem seiner grösseren Vollendung die grössere Vollständigkeit derselben angemessen war. Ich habe schon die überraschende Sicherheit angegeben, welche die Ablesung jedes seiner mikroskopischen Zeiger gewährt: damit sie einer Beobachtung wirklich nützlich werde, ist erforderlich, dass Alles was Einfluss auf diese erhalten kann, mit ihr angemessener Sicherheit bekannt werde.

Zuerst werde ich die Einflüsse der Ungleichheit der Wärme in der Sternwarte betrachten. Ich habe das hunderttheilige Thermometer, an dem oberen Rande des Kreises oft einen Grad höher gefunden, als an dem unteren, und ferner, dass diese Wärmeverschiedenheit den oberen Halbkreis, vergleichungsweise mit dem unteren, etwa anderthalb Secunden verlängert. Hieraus wird offenbar, dass die Theilstriche, durch die Wärmeverschiedenheit, gegen welche der Kreis nicht geschützt werden kann, beträchtlich über die Sicherheitsgrenze ihrer Ablesungen hinaus, von ihrem Orte gerückt werden können. Da das Thermometer wohl die Wärmeverschiedenheit der Luft neben dem Kreise, nicht aber den Einfluss kennen lehren kann, den sie auf den, während der Beobachtungen seine Lage gegen den Horizont ändernden Kreis, in jedem Augenblicke erlangt, und man damit die Grundlage einer Berechnung der jedesmaligen Grösse der aus dieser Ursache entstehenden, veränderlichen Theilungsfehler entbehrt, so ist eine Aufklärung, welche die Theorie über ihr Verhalten an verschiedenen Punkten des Kreises giebt, das Einzige, was man von ihnen weiss. Diese ist aber hinreichend: sie zeigt, dass, obgleich die Aenderung des Kreises durch die Wärmeverschiedenheit, in der Ablesung jedes der Zeiger, erheblich hervortreten kann, sie an verschiedenen Punkten desselben immer so beschaffen ist, dass das Mittel der Ablesungen aller vier als frei davon zu betrachten ist; sie lehrt dadurch einen entscheidenden Vorzug der ganzen Kreise vor den Quadranten,

und der grösseren Zahl ihrer Zeiger vor einer kleineren, kennen. — Indessen äussert die Wärmeverschiedenheit noch einen anderen Einfluss, indem sie die Oerter der Zeiger selbst verändert. Von diesem zweiten, ganz unbekannt bleibenden, also als zufällig zu betrachtenden Einflusse, wird die Beobachtung befreiet, wenn, unmittelbar vor oder nach ihr, die Absehenslinie des Fernrohrs lothrecht gerichtet und auch diese Richtung an dem Kreise abgelesen wird, so dass die unbekannt bleibenden Ortsveränderungen der Zeiger, gleichen Einfluss auf beide Ablesungen erhalten und daher die Richtigkeit ihres Unterschiedes — der Entfernung des Gestirns vom Scheitelpunkte — nicht beeinträchtigen. Die lothrechte Richtung des Fernrohrs, wird eben so leicht als vollkommen, durch eine, dem scharfsinnigen Bohnenberger zu verdankende Methode gefunden, welche ich nicht unerwähnt lassen darf, da sie ein wesentlicher Beitrag zur Beobachtungskunst ist. Indem parallele Strahlen, die in das Objectivglas des Fernrohrs einfallen, in seinem Brennpunkte, wo sich die Fäden befinden, vereinigt werden, werden auch von den Fäden ausgehende, nach ihrem Durchgange durch das Objectiv parallel. Fallen diese Strahlen auf eine spiegelnde Ebene, auf welcher die Absehenslinie des Fernrohrs nahe senkrecht steht, so kehren sie, von ihr zurückgeworfen, wieder zu dem Objective zurück, werden durch dieses wieder vereinigt und erzeugen dadurch ein Bild der Fäden, welches desto näher bei den Fäden selbst erscheint, je näher senkrecht

die Absehenslinie des Fernrohrs auf der spiegelnden Ebene steht; wird diese Stellung genau senkrecht so fallenBild und Fäden zusammen. Man erlangt eine spiegelnde Ebene und zwar eine genau horizontale, durch die ruhige Oberfläche einer Flüssigkeit: wird daher ein mit Quecksilber gefülltes Gefäss unter das Instrument gestellt und das Fernrohr nach Unten gerichtet, so dass das Bild der Fäden mit ihnen selbst zusammenfällt, so ist dieses der Beweis seiner geforderten, lothrechten Stellung. Diese Methode lässt nichts zu wünschen übrig. Offenbar macht sie nicht allein die von Wärmeverschiedenheiten herrührende, sondern jede Aenderung der Stellungen der Zeiger unschädlich, befreiet also die Beobachtungen auch von der Voraussetzung der Unveränderlichkeit der Steinpfeiler.

Ferner müssen die Einflüsse der Schwere auf das Instrument aus den Resultaten fortgeschafft werden. Sowohl die Absehenslinie des Fernrohrs, als auch der Kreis, können dadurch geändert werden. Beide Hälften des Fernrohrs, die das Objectiv und die die Fäden und das Ocular tragende, krümmen sich, wenn das Fernrohr sich nicht in lothrechter Lage befindet, durch ihre eigene Schwere nach Unten; wenn diese Krümmungen gleich gross sind, so haben sie keinen Einfluss auf die Richtung der Absehenslinie, den sie aber, bei ungleicher Grösse erlangen. Der Kreis erfährt jedenfalls eine Formänderung und damit erfahren seine Theilstriche Verschiebungen; denn sein nach Oben gerichteter Radius verkürzt sich durch die Schwere, der nach Unten gerichtete verlängert sich,

die wagerechten Radien krümmen sich nach Unten; er hört auf kreisrund zu sein und wird eine wenig von dem Kreise verschiedene Linie. Die Bestimmung der aus dieser Ursache hervorgehenden Veränderungen, sowohl des Fernrohrs, als des Kreises, fällt der Lehre vom Gleichgewichte anheim, aber diese kann sie nur ergeben, wenn bekannt ist, welche Schwere jeder Theil des Instruments besitzt und wie stark er der Formänderung widersteht, welche die Schwere des Ganzen hervorzubringen strebt. Der einfachste Fall, die völlige Gleichheit des Metalls an allen Punkten, darf nicht vorausgesetzt werden; und mit der Kenntniss der — ohne Zweifel immer vorhandenen — Ungleichheiten fehlt zugleich die Berechtigung zu einer anderen Annahme. Hier hilft wieder die Theorie, indem aus der Lehre vom Gleichgewichte der Beweis einer merkwürdigen allgemeinen Eigenschaft gezogen werden kann, welche, wie auch die Beschaffenheit der Ungleichheiten in jedem besonderen Falle sein mag, lehrt, dass der Einfluss der Schwere durch geeignete Anordnung der Beobachtungen, völlig vermieden werden kann. Die Entfernung eines Sterns vom Scheitelpunkte ist der Entfernung seines, von einer Quecksilberoberfläche reflectirten Bildes vom Fusspunkte gleich, so dass sie ebensowohl unmittelbar durch den Stern, als auch mittelbar durch sein Bild gemessen werden kann; geschieht beides, erst in einer Lage der Axe des Instruments, dann in der anderen, so dass dadurch vier Messungen der Entfernung des Sterns vom Scheitelpunkte erlangt werden,

so lehrt die erwähnte Eigenschaft, dass das mittlere Resultat derselben genau dasselbe ist, welches es sein würde wenn die Schwere keinen Einfluss auf das Instrument äusserte. Hiermit ist die Beobachtungsmethode vorgeschrieben, welche befolgt werden muss, wenn die Formänderungen des Instruments durch die Schwere keinen Zweifel erzeugen sollen.

Endlich müssen noch die Theilungsfehler des Kreises den Beobachtungen unschädlich gemacht werden. So genau sich auch die Theilstriche an ihren beabsichtigten Oertern befinden mögen, so kann doch noch genauer bestimmt werden, wieviel sie sich von diesen entfernen: dieselbe mikroskopische Verstärkung des Sehens, in Folge deren einmaliger Anwendung die Striche gezogen sind, kann nämlich so oft man will angewandt werden, den Ort, wo sich einer von ihnen wirklich befindet, zu bestimmen, wodurch, wie immer durch Wiederholungen einer Beobachtung, nicht allein grössere Verminderung ihres zufälligen Fehlers, sondern auch grössere Unabhängigkeit von äusseren Einflüssen erlangt werden kann. Ich habe auf diese Art die drei Kreise, die nach und nach auf der Königsberger Sternwarte angewandt worden sind, untersucht, und gefunden, dass, wenn der erforderliche mikroskopische Apparat geeignete Einrichtung und Vollendung besitzt, die Genauigkeit ihres Resultats so weit getrieben werden kann, wie der Beobachter sie zu treiben wünscht; dass aber der Zeitaufwand, den die genügende Bestimmung eines Theilungsfehlers kostet, zu gross ist, um sie für alle Striche des Kreises (der

Repsold'sche hat deren 10800) ausführen zu können. — Die Fehler der Theilstriche eines Kreises entstehen zum Theil aus kleinen, zufälligen Unvollkommenheiten ihrer mikroskopischen Auftragung, zum Theil aus stetig wirkenden Ursachen, z. B. Spannungen im Metalle des Kreises, während oder nach seiner Theilung, und Wärmeverschiedenheiten in ihm selbst oder der Theilmaschine. Wenn man sie für viele, gleichmässig im Kreise vertheilte Striche, z. B. für jeden 5ten Gradstrich, bestimmt hat, so wird man dadurch in den Stand gesetzt werden, ihr stetiges Fortschreiten, wenn es vorhanden ist, trotz seiner kleinen Störungen durch die zufälligen Unvollkommenheiten, zu erkennen; und ferner, indem man ihren so erkannten regelmässig fortschreitenden Theil bei jeder Beobachtung in Rechnung bringt, diese gänzlich davon zu befreien, so dass ihre Richtigkeit allein von dem Mittel der zufälligen Fehler der vier jedesmal abgelesenen Theilstriche beeinträchtigt wird. Will man die Fehler dieser vier Striche unmittelbar bestimmen, so wird dadurch die Beobachtung ganz von ihnen befreiet. Immer wenn der Beobachtung einer Zenithdistanz, durch ihre häufige Wiederholung, der höchste Grad von Sicherheit gegeben werden soll, ist auch Veranlassung vorhanden, den Zeitaufwand nicht zu sparen, den die unmittelbare Bestimmung, der ihr entsprechenden Theilstriche fordert. Daher habe ich diese Bestimmung für die Zenithdistanzen ausgeführt, in welchen in Königsberg gewisse Fixsterne culminiren, die durch oft wiederholte Beobachtung, mit der äusser-

sten Sicherheit festgesetzt werden sollten, um sie zu Grundlagen anderer Bestimmungen machen zu können.

Ich habe auseinandergesetzt, wie die Beobachtungen von Zenithdistanzen, von allen Unvollkommenheiten befreiet werden können, die das Instrument selbst besitzen mag, und die aus äusseren, seine Anwendung begleitenden Einflüssen hervorgehen; wie also nun die zufälligen Fehler der Richtung des Fernrohrs auf ein Gestirn und ihrer Ablesung am Kreise, übrig bleiben. Die mittlere Grösse dieser zufälligen Fehler ist für den Repsoldschen Meridiankreis der Königsberger Sternwarte nur sechs Zehntel einer Secunde, während sie für den Troughtonschen der Greenwicher noch acht Zehntel ist, obgleich dieser, in der doppelten Grösse seines Halbmessers und seinen sechs mikroscopischen Ablesungen, Vortheile voraus hat. Dieser grössere Erfolg in der Einschränkung auch der zufälligen Fehler, ist grösstentheils der, durch die auseinandergesetzte Beobachtungsmethode erlangten, Vermeidung eines Theils ihrer Ursachen zuzuschreiben. In beiden Fällen ist übrigens das — selten fehlende — Zittern der Bilder der Gestirne im Fernrohre, die am stärksten wirkende der verschiedenen Ursachen der Fehler. Wenn die Grösse, auf welche diese herabgekommen sind, grösstentheils darin ihre Erklärung findet, so wird dadurch wahrscheinlich, dass die Genauigkeit der Beobachtungen der Declinationen der Gestirne, nicht mehr erheblich wird gesteigert werden können, dass

also fernere Bemühungen mehr ihre Erleichterung als ihre Verbesserung zur Aufgabe haben werden.

Wichtiger als die zufälligen, durch Wiederholung vermindert werdenden Fehler der Beobachtungen, sind die beständigen. Die Aufgabe der Beobachtungskunst ist die gänzliche Wegschaffung der letzteren, die gänzliche Trennung der Eigenthümlichkeiten und Unvollkommenheiten des Apparats von den Resultaten, deren Erlangung er nur vermitteln soll. Wenn ich der Nachweisung der Möglichkeit ihrer Auflösung in einem Falle, einige Ausführlichkeit gegeben habe, so ist es theils in der Hoffnung geschehen, dadurch die allgemeinere Aufgabe bestimmter hervortreten zu lassen; theils in der Absicht, die Bedingung genauer zu bezeichnen, von deren Erfüllung ferneres schnelles Fortschreiten der Astronomie abhängen wird. — Ich habe fast allein der Beobachtungen erwähnt, die im Meridiane gemacht werden; sie sind die allgemeinsten und wichtigsten, aber in gewissen Fällen werden auch andere nothwendig, von welchen am geeigneten Orte die Rede sein wird.

Oerter der Fixsterne an der Himmelskugel.

Eine, sich der Beobachtung darbietende Erscheinung geht zwar selten aus einer einzigen Ursache hervor, gewöhnlich aus zahlreichen, zusammentreffenden Ursachen; aber eine von diesen ist meistens zur Erklärung der Erscheinung im Ganzen hinreichend, während die übrigen sich nur in mehr oder weniger unbeträchtlichen Abweichungen von der alleinigen Wirkung jener äussern. Hierdurch wird die Erfindung der Erklärung der Erscheinung erleichtert, indem Anfangs nicht die vollständige, sondern eine einfachere gesucht wird; eine, welche der beobachteten Erscheinung im Ganzen entspricht, aber kleinere Abweichungen unbeachtet lässt. Diesen Anfang haben alle Erklärungen wirklich gehabt, welche auf Beobachtungen allein gegründet, nicht aus einem schon bekannten Principe mathematisch abgeleitet worden sind; auch haben sie keinen anderen haben können, wenn die Beobachtungen Anfangs so geringe Genauigkeit besassen, dass kleinere Abweichungen sich in ihren Fehlern verbargen. Anfängliche Rohheit der Beobachtungen erleichterte die Erklärung, indem sie kleinere Abweichungen von

einer einfachen Regel verschwieg und dadurch die Erscheinung einfacher darstellte, als sie wirklich ist. So erschienen Keplers Entdeckungen den Beobachtungen Tychos völlig genügend, während es nicht hätte gelingen können, die höchst zusammengesetzte, durch verfeinerte Beobachtungen an den Tag gelegte Bewegung der Planeten, anders als durch Verfolgung der späteren Lehre Newtons zu erklären. Ein viel näher liegendes Beispiel des Gesagten giebt aber die Bewegung der Fixsterne an der Himmelskugel: die schärfer gewordenen Beobachtungen zeigen, dass diese Sterne nicht genau, sondern nur näherungsweise Kreise um einen festen Punkt beschreiben; auch dass ihre Oerter an der Himmelskugel, weit entfernt unveränderlich zu sein, zwar langsame, aber sehr zusammengesetzte Veränderungen erfahren.

Die Astronomen haben, von je her, einen grossen Theil ihrer Bemühungen den Fixsternen zugewandt; sowohl um die Ursachen kennen zu lernen, welche Abweichungen von der einfachen, den frühesten Beobachtungen angemessen erscheinenden Vorstellung erzeugen, als auch, um die Oerter vieler Fixsterne an der Himmelskugel festzustellen, deren Kenntniss sowohl an sich selbst Interesse hat, als auch für andere Theile der Astronomie nothwendig wird. Das Folgende wird zeigen, dass jene vielfältigen Bemühungen erhebliche Erfolge herbeigeführt haben.

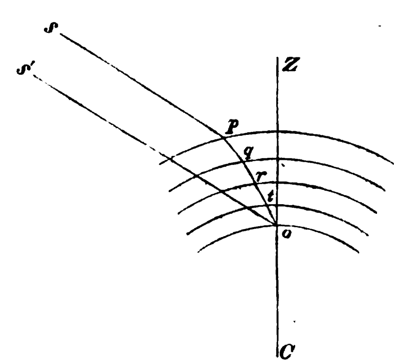
Von den Ursachen, welche das reine Hervortreten der täglichen Bewegung der Gestirne beeinträchtigen, müssen wir zuerst die astronomische Strahlen-

brechung kennen lernen. Die Beobachtungen stimmen mit der Annahme, dass die Fixsterne Kreise um einen, beziehungsweise auf den Horizont festen Pol beschreiben, zwar in soweit überein, dass die roheren der Alten keinen Zweifel an ihrer Richtigkeit erzeugten; aber Tycho de Brahe erkannte schon aus den seinigen, dass die Uebereinstimmung nicht vollständig ist: die halbe Summe der Zenithdistanzen eines Sterns, in beiden Culminationen, ist für dem Pole nähere Sterne etwas grösser, als für entferntere, während sie, im Falle der Richtigkeit der Annahme, für alle Sterne gleich gross sein sollte. Die Ursache hiervon ist eine Ablenkung von der geraden Linie, welche die von den Gestirnen kommenden Lichtstrahlen in ihrem Durchgange durch die Luft erfahren, in Folge dessen die Richtungen, in welchen sie erscheinen, nicht die sind, in welchen sie sich wirklich befinden. Ich muss versuchen, diese astronomische Strahlenbrechung zu erläutern; die Nothwendigkeit ihrer Kenntniss ist offenbar, weil die wahren Oerter aller Gestirne an der Himmelskugel, erst nach ihrer Erlangung aus den von ihr entstellten, welche die Beobachtungen angeben, gefolgert werden können.

Wenn die, mit zunehmender Entfernung von der Erdoberfläche abnehmende Dichtigkeit der Luft, allein von dieser Entfernung abhängig angenommen wird, so kann die ganze Luftmasse, durch der Erde concentrische Kugeloberflächen *) in beliebig viele Schichten

*) Zwar ist die Oberfläche der Erde nicht genau kugelförmig, aber dieses darf hier unbeachtet bleiben.

getheilt werden, an deren Grenzen die Dichtigkeit allenthalben gleich ist. Je weniger dick jede der Schichten genommen wird, desto kleiner wird die Abnahme der Dichtigkeit der Luft von ihrer unteren Grenze bis zu der oberen, und desto näher der Wahrheit kommt die Voraussetzung der durchweg gleichen Dichtigkeit jeder Schichte. Man kann sich daher die ganze Luftmasse, aus vielen, übereinanderliegenden Schichten zusammengesetzt vorstellen, deren jede durchweg gleiche Dichtigkeit, jede höhere aber eine kleinere besitzt als die niedrigere. Diese Vorstellung, welche der wahren Beschaffenheit der Luft, durch Vergrösserung der Zahl und damit verbundene Verminderung der Dicke der Schichten, beliebig nahe gebracht werden kann, erleichtert die Uebersicht über die Art des Durchganges eines Strahls durch die Luft.

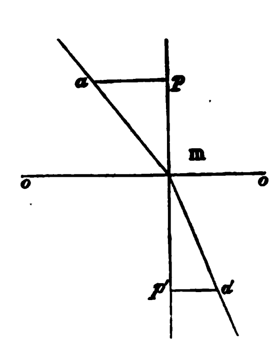


Wenn dieser von einem sich in der Verlängerung von *ps* befindenden Gestirne kommt und in *p* die Oberfläche der äussersten der um den Mittelpunkt *C* der Erde gelegten Luftschichten trifft, so wird er hier gebrochen, *) so dass er nicht in der Verlängerung von *sp*, sondern

*) Wenn ein Lichtstrahl *am* aus dem leeren Raume in einen durchsichtigen Körper übergeht, so erfährt er an dem Punkte *m* seines Eintritts in den Körper, eine Aenderung seiner

in einer etwas geänderten Richtung pq an die Oberfläche der zweiten Schichte gelangt; indem diese dichter ist als die äusserste, wird er in q wieder gebrochen u. s. w. Nachdem der Strahl durch alle Schichten durchgegangen ist, gelangt er in der Richtung to, die er in der untersten Schichte angenommen hat, zum Auge o. Dieses sieht das Gestirn in der Richtung, in welcher der Strahl zu ihm gelangt, also in der Zenithdistanz Zot; wenn keine Brechung vorhanden wäre, so würde es das Gestirn in seiner wahren Richtung sehen, welche sich, in keinem Falle, merklich von der ps parallelen

---



Richtung, eine Brechung. Die neue Richtung ma', in welcher er dann fortgeht, ist mit der vorigen durch folgendes Gesetz verbunden; wenn man am und $a'm$ gleich lang macht, und die Linie pmp' so durch m zieht, dass sie die Oberfläche omo des Körpers senkrecht durchschneidet, so sind die von a und a' senkrecht auf pmp' gefällten ap, $a'p'$, in einem beständigen, d. h. für alle Einfallswinkel amp gleichen Verhältnisse. Kennt man dieses Brechungsverhältniss, so ist damit die jedem Einfallswinkel zugehörige Brechung auch bekannt. Für verschiedene Körper ist es verschieden; nur die Beobachtung der Grösse der Brechung, welche jeder Körper erzeugt, kann es kennen lehren. — Wenn der Strahl nicht aus dem leeren Raume in einen Körper, sondern aus einem Körper in einen anderen übergeht, so erfährt er, an der beide trennenden Oberfläche, eine Brechung, deren Gesetz ebenfalls das in jenem Falle stattfindende ist. Das Brechungsverhältniss ist dann das Verhältniss der beiden Körpern eigenthümlichen Brechungsverhältnisse. — Das Gesetz der Strahlenbrechung hat Snellius schon im Jahre 1620 entdeckt.

Richtung *os'* unterscheidet. Der Unterschied der scheinbaren und der wahren Zenithdistanz, also der Winkel *s'ot*, ist die astronomische Strahlenbrechung.

Wenn man das Brechungsverhältniss für jede der angenommenen Luftschichten kennt, so kann man auch den Strahl durch alle hindurch verfolgen und dadurch alle Brechungen, die er erfährt, kennen lernen. Offenbar ist der Weg, den er beschreibt, derselbe, er mag von dem Sterne zum Auge, oder von diesem zu jenem übergehen; seine Verfolgung in dem letzteren Sinne ist anschaulicher, wenn die scheinbare Zenithdistanz *Zot* gegeben ist und die wahre gesucht wird. Indem der Winkel *Zot*, so wie auch die Halbmesser der Erde und der Oberfläche der untersten Luftschichte, *Co* und *Ct* gegeben sind, kennt man den Winkel, in welchem der Strahl an diese Oberfläche gelangt; und, durch die gegebenen Brechungsverhältnisse für die unterste Schichte und die zweite, auch den Winkel, in welchem er wieder von ihr ausgeht; der Unterschied beider Winkel ist die Brechung, die er in *t* erfährt. Aus dem letzteren Winkel, den Halbmessern *Ct*, *Cr* und den Brechungsverhältnissen für die zweite und dritte Schichte, folgt eben so die Brechung, die der Strahl in *r* erfährt, u. s. w. Die Summe aller dieser Brechungen ist offenbar die astronomische Strahlenbrechung für die scheinbare Zenithdistanz, von welcher man die eben angedeutete Verfolgung des Strahls angefangen hat. Damit diese ganz richtig gefunden werde, muss die Luft in unzählige Schichten von sehr geringer Dicke eingetheilt werden; der mathematische Calcul hat

aber, über die Brechungen an den unzähligen Schichtengrenzen hinweg, mit einem Schritte zu ihrer Summe zu gelangen gelehrt.

Aus dieser Darstellung der Entstehungsart der astronomischen Strahlenbrechung geht hervor, dass ihre Kenntniss die des Brechungsverhältnisses der atmosphärischen Luft in jeder Höhe über der Erdoberfläche voraussetzt. Dieses Verhältniss ist sehr wenig von Eins verschieden: an der Oberfläche der Erde, wo die Luft am dichtesten und ihr Einfluss auf einen Lichtstrahl am grössten ist, beträgt seine Verschiedenheit von Eins kaum ein Dreissigtausentel; sie ändert sich im Verhältnisse der Dichtigkeit der Luft und verschwindet also gänzlich an der äusseren Grenze der Atmosphäre. Zur Kenntniss des Brechungsverhältnisses für jede Höhe über der Erde, ist erforderlich, dass man ausser seinem Werthe für eine bestimmte Dichtigkeit der Luft, das Gesetz kenne, welchem die Dichtigkeit der Atmosphäre folgt. Dieses Gesetz ist aber selbst die Folge eines anderen, nämlich des Gesetzes der Wärme der Atmosphäre, durch welches es, unter der Voraussetzung ihres Gleichgewichts, bedingt wird. Um die Art der Abhängigkeit des ersteren Gesetzes von dem letzteren anschaulich zu machen, werde ich zeigen, wie die Dichtigkeit jeder Schichte der Atmosphäre bekannt wird, wenn ihre Wärme bekannt ist. Indem man weiss, dass die Dichtigkeit einer Luftmasse, bei gleichbleibender Wärme, dem Drucke, den sie erfährt, verhältnissmässig ist; auch die Grösse des Einflusses kennt, welchen die Wärme,

indem sie die Federkraft der Luft vermehrt, darauf äussert, so kennt man die Dichtigkeit der Atmosphäre an jedem Punkte, wo der Druck ihrer höheren Schichten durch das Barometer, und die Wärme durch das Thermometer bekannt geworden sind. Die Anwendung dieser Instrumente an der Oberfläche der Erde, lehrt also die Dichtigkeit der untersten Schichte der Atmosphäre kennen; welcher Dichtigkeit der Druck verhältnissmässig ist, den sie, bei beliebiger Annahme ihrer — sehr kleinen — Dicke ausübt. Indem man um diesen Druck, den an der Oberfläche der Erde bekannt gewordenen vermindert, bleibt der Druck an der Grundfläche der nächsthöheren Schichte übrig, welcher, verbunden mit ihrer, als bekannt angenommenen Wärme, ihre Dichtigkeit, also auch den Druck, den sie ausübt, kennen lehrt. Von diesem wird eben so auf die Dichtigkeit und den Druck der dritten Schichte, deren Wärme gleichfalls als bekannt angenommen ist, gefolgert u. s. w. Auch hier, wie in schon erwähnten ähnlichen Fällen, macht der mathematische Calcul die Betrachtung einzelner Schichten unnöthig, und führt unmittelbar von jedem gegebenen Gesetze der Wärme zu dem ihm entsprechenden Gesetze der Dichtigkeit.

Ich hoffe, deutlich gemacht zu haben, wie die astronomische Strahlenbrechung, sowohl von der Grösse des Brechungsverhältnisses für Luft an der Oberfläche der Erde, als auch von dem Gesetze abhängt, wonach ihre Wärme sich ändert. Von der letzteren haben die Besteigungen hoher Gebürge, und Luftfahrten

gezeigt, dass sie, im Allgemeinen, mit zunehmender Entfernung von der Oberfläche der Erde kleiner wird (etwa für 500 Fuss einen Grad des hunderttheiligen Thermometers); aber es ist leicht einzusehen, dass ihr Gesetz höchst veränderlich sein muss. Die sich zwischen den Tageszeiten der grössten und der kleinsten Wärme zeigenden Verschiedenheiten, sind an der Oberfläche der Erde viel grösser als in beträchtlicher Höhe, woraus offenbar wird, dass die Abnahme der Wärme am Tage viel grösser ist als in der Nacht; im Sommer ist sie, aus dem ähnlichen Grunde, grösser als im Winter u. s. w. Auch die Erhitzung der Oberfläche der Erde durch die Sonnenstrahlen muss beträchtliche Aenderungen hervorbringen: oft wächst die Wärme bis zu einer Höhe von 100 Fuss oder mehr, und nimmt erst über dem dadurch erlangten Maximo ab. — Diese Aenderungen der im Allgemeinen stattfindenden Abnahme der Wärme, sind in demselben Sinne zufällig und örtlich, in welchem die Aenderungen der Witterung es sind. In beiden Fällen gleichweit von ihrer Vorausbestimmung entfernt, besitzen wir auch nicht einmal ein Mittel, welches den jedesmal vorhandenen Zustand der Wärme an höheren Punkten der Atmosphäre kennen lehren könnte.

Indem man also eins der beiden Elemente der Theorie der astronomischen Strahlenbrechung nur unvollkommen kennt, kann man diese selbst auch nur unvollkommen kennen lernen: es bleibt wirklich nichts übrig, als die Fälle zu vermeiden, in welchen die stattfindende Unsicherheit erheblichen Einfluss

erlangt. Diese Fälle sind die der grössten, sich 90 Grad nähernden Zenithdistanzen; in dem Gürtel um die Himmelskugel, von dem Horizonte bis zu einer gewissen Höhe, werden die astronomischen Strahlenbrechungen unsicher, weil hier die immer vorhandene Unsicherheit der Kenntniss eines ihrer Elemente, erheblichen Einfluss auf ihre Grösse erlangt. Offenbar ist es wichtig für die Astronomie, die Höhe kennen zu lernen, bis zu welcher die Unsicherheit sich erstreckt. Laplace hat die merkwürdige Eigenschaft der astronomischen Strahlenbrechung nachgewiesen, dass das Gesetz der Dichtigkeit der Atmosphäre, nur in Höhen unter 10 bis 11 Grad, einen erheblichen Einfluss auf ihre Grösse erhält; so dass, über diese Grenze hinaus, das Brechungsverhältniss und der Druck der Luft am Beobachtungsorte allein in Betracht kommen, und es gleichgültig bleibt, ob die Dichtigkeit sich schneller, langsamer oder gar nicht verändert. Für alle grösseren Höhen ist also keine Schwierigkeit vorhanden; aber es ist auch gelungen, den Theil des Himmels, in welchem die Strahlenbrechung als unsicher betrachtet werden muss, in noch engere Grenzen einzuschliessen.

Wenn man die Zenithdistanzen mehrerer, theils dem Pole näherer, theils von ihm entfernterer und bei der unteren Culmination in sehr kleine Höhen gelangender Fixsterne, in beiden Culminationen beobachtet, und jeder die Strahlenbrechung hinzusetzt, welche aus irgend einer bestimmten Annahme des Brechungsverhältnisses und der Wärmeabnahme hervorgeht, so

ist die Uebereinstimmung sämmtlicher halben Summen der beiden, so erlangten Zenithdistanzen der einzelnen Sterne, das Kennzeichen der Richtigkeit der Annahme; weshalb diese so gewählt werden muss, dass sie die Uebereinstimmung hervorbringt. Die halbe Summe der beiden, durch die Hinzufügung der Strahlenbrechung von ihrem Einflusse befreieten Zenithdistanzen jedes Sterns ist dann die Entfernung des Pols vom Scheitelpunkte, oder ihre Ergänzung zu 90 Grad ist die Polhöhe. Da man aber, wegen der vorhandenen, unbekannt bleibenden Veränderungen des Gesetzes der Wärme, Uebereinstimmung zu allen Zeiten nicht erlangen kann, so muss man sich begnügen, die unvermeidlichen Fehler möglichst klein zu machen. Dieses wird man erlangen, wenn man den mittleren Werth der Wärmeabnahme annimmt; den, von welchem die zu verschiedenen Zeiten vorkommende, sich gleich oft und gleich weit nach der einen und nach der anderen Seite entfernt; denselben, welcher die mittleren Resultate häufig, zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, wiederholter Beobachtungen der Zenithdistanzen der verschiedenen Sterne in möglichst vollkommene Uebereinstimmung bringt. Jndem man die Wärmeabnahme auf diese Art, und die Einflüsse, welche die veränderlichen Stände des Barometers und Thermometers an dem Beobachtungsorte auf die astr. Strahlenbrechung äussern, der entwickelten Theorie genau angemessen bestimmt hat, hat man, bis zum fünften Grade der Höhe über dem Horizonte herab, solche Uebereinstimmung zwischen

der Rechnung und einzelnen Beobachtungen hervorgebracht, dass von dem Scheitelpunkte bis dahin nichts zu wünschen übrig bleibt. Man wird hierdurch jedoch nicht berechtigt, unbedingt auszusprechen, dass die vorhandene Veränderlichkeit des Gesetzes der Wärme der Atmosphäre, bis zu 5 Grad der Höhe herab, keinen merklichen Einfluss auf die astronomische Strahlenbrechung äussere; *) vielmehr darf dieses nur vergleichungsweise mit der Sicherheit der Beobachtungen behauptet werden, welche desto kleiner wird, je mehr die Gestirne sich dem Horizonte nähern. Die Gründe hiervon sind sowohl die mit abnehmender Höhe zunehmende Unruhe und Undeutlichkeit ihrer Bilder im Fernrohre, als auch die Zertheilung ihres Lichts in Farben, welche sich in Folge seiner Brechung in der Luft, ebensowohl zeigt, als in Folge seiner Brechung in einem Glasprisma, in den Wassertropfen, welche den Regenbogen erzeugen u. s. w. Aus diesem Grunde zeigen sich die Sterne nicht als Punkte, sondern als gefärbte Linien, deren Länge der Strahlenbrechung, die sie erfahren, verhältnissmässig, meinen Beobachtungen zufolge, ein Achtzigstel derselben, ist; in kleineren Höhen, wo die Strahlenbrechung grösser ist, sieht man im Fernrohre ihre Farbenbilder, immer

*) Unter die Ursachen, welche solchen Einfluss äussern können, und wirklich äussern, gehört auch eine Abweichung der gleichdichten Schichten der Atmosphäre von der Concentricität. Ihr Vorhandensein wird schon in Verschiedenheiten der Barometer- und Thermometerstände an verschiedenen, über der Meeresfläche gleich hohen Punkten der Erde offenbar.

wenn ihre Unruhe nicht gar zu gross ist, während sie in grösseren Höhen, wo die Strahlenbrechung kleiner ist, so kurz werden, dass sie als (ungefärbte) Punkte erscheinen. In Höhen unter 5 Grad wird die, aus dem Zusammenwirken der Unruhe der Luft und der Zerstreuung des Lichts hervorgehende, Unsicherheit der Beobachtungen so gross, dass diese, wenn auch Mittel vorhanden wären, das jedesmalige Gesetz der Wärme kennen zu lernen, der Astronomie wenig nützlich sein würden. Indem man in der Kenntniss der astronomischen Strahlenbrechung so weit gelangt ist, als man gelangen kann, hat man sie also zugleich so vollständig erlangt, als ihr astronomisches Interesse fordert.

Wenn auch die Astronomen vor Tycho de Brahe das Vorhandensein einer Strahlenbrechung kannten, so versuchte dieser doch zuerst, ihre Grösse für verschiedene Zenithdistanzen, durch Beobachtungen zu bestimmen. Der grosse französiche Astronom Johann Dominicus Cassini hat aber das Verdienst (1655), die Beobachtungen mit einer physischen Theorie der astronomischen Strahlenbrechung verbunden, und dadurch nicht allein ihre der Wahrheit weit nähere Kenntniss herbeigeführt, sondern auch eine der frühesten Beispiele einer solchen Verbindung gegeben zu haben. Seine Theorie beruhete indessen noch auf der Voraussetzung einer Atmosphäre von beständiger, nicht mit zunehmender Entfernung von der Erde abnehmender Dichtigkeit. Die durch ihre Abnahme erzeugte Schwierigkeit grösstentheils zu umgehen, fand

der englische Geometer Thomas Simpson (1743) ein Mittel, welches Bradley benutzte, um aus seinen eigenen Beobachtungen eine, lange Zeit im Gebrauche gebliebene, Tafel der Strahlenbrechungen für alle Zenithdistanzen abzuleiten. Indessen hatte, gegen das Ende des letzten Jahrhunderts, der mathematische Calcül hinreichende Kraft erlangt, um Kramp und auch Laplace in den Stand zu setzen, die Theorie der astronomischen Strahlenbrechung auf ihre wahren Gründe, nämlich die physische Beschaffenheit der Atmosphäre und das Brechungsverhältniss für Luft von einer bestimmten Dichtigkeit, zurückzuführen, und dadurch die Schwierigkeit zu überwinden, welche von Simpson grösstentheils umgangen war. Die Tafel der astronomischen Strahlenbrechungen, welche jetzt im allgemeinen Gebrauche ist, beruhet auf der Vergleichung dieser Theorie mit einer, auf der Königsberger Sternwarte gemachten, zahlreichen und nach einer Zwischenzeit von 20 Jahren wiederholten Reihe von Beobachtungen. *) — Ich habe umständlicher von der astronomischen Strahlenbrechung gehandelt: indem sie zwischen jede Beobachtung des Orts eines Gestirns an der Himmelskugel und ihre Anwendung

*) Die Grösse der astronomischen Strahlenbrechung kann nach folgender Angabe ohngefähr beurtheilt werden. Für 45 Grad der Zenithdistanzen ist sie noch nicht eine volle Minute, für 65° 2 Minuten, für 73° 3 Minuten, für 77° 4 Minuten, für 85° schon 10 Minuten, für 90°, oder im Horizonte, beträgt sie 36 Minuten. Diese beiläufigen Angaben gelten für die mittleren Stände des Barometers und Thermometers in unseren Gegenden der Erde; die Veränderungen derselben äussern beträchtliche, aber bekannte Einflüsse darauf.

tritt, erschien die Nachweisung wesentlich, wie sie, obgleich, der Natur ihrer Ursache gemäss, nicht vollständig, doch dem astronomischen Bedürfnisse genügend bekannt werden konnte; hiervon abgesehen, ist auch das von ihr dargebotene Beispiel geeignet, zu zeigen, wie die Astronomie, um ihre Zwecke zu erreichen, auf Kenntnisse zurückzugehen genöthigt wird, die nicht am Himmel erlangt werden können.

Die Reihe der Arbeiten, deren Gegenstand die Fixsterne waren, wird durch die Bestimmung der Oerter von 1022 derselben eröffnet, welche Hipparch für das Jahr 128 vor Chr. ausführte. Als Veranlassung dieser, im Alterthume durch die höchste Bewunderung belohnten Leistung, wird angeführt, dass ein neu erschienener Stern den Wunsch erzeugt habe, den Nachkommen ein Ortsverzeichniss der vorhandenen zu überliefern; es bedurfte jedoch wohl keiner besonderen Veranlassung, um Hipparch, der die Unentbehrlichkeit eines solchen Verzeichnisses für die Astronomie nicht verkennen konnte, zu der Anstrengung zu veranlassen, welche seine Ausführung forderte.

Die Oerter der Sterne im Hipparchschen Verzeichnisse sind nicht durch Rectascension und Declination, sondern auf eine andere Art, durch Länge und Breite bestimmt, deren Bedeutung ich noch nicht erklärt habe, von denen aber in der Folge oft die Rede sein wird. Länge und Breite beziehen sich eben so auf die Ecliptik, wie Rectascension und Declination auf den Aequator: die Breite eines

Gestirns ist also seine Entfernung von der Ecliptik, seine Länge ist der Winkel zwischen den beiden grössten Kreisen, von dem Pole der Ecliptik nach dem Gestirne und nach dem Frühlingsnachtgleichenpunkte gelegt. Indem aus der Angabe der einen Art und der Schiefe der Ecliptik die der anderen abgeleitet werden kann, sowohl durch Verzeichnung auf einer Kugeloberfläche, als auch durch die — jede beliebige Genauigkeit gewährende — Berechnung des Kugeldreiecks zwischen dem Pole des Aequators, dem Pole der Ecliptik und dem Gestirne, indem also die Angabe der einen Art in der der anderen enthalten ist, kann ein Vorzug einer von ihnen, allein auf ihrer näheren Verbindung mit ihrer beabsichtigten Anwendung beruhen. Soll z. B. der Ort eines Gestirns durch den bekannten Ort eines anderen gefunden werden, indem die Rectascensions- und Declinationsunterschiede beider Oerter beobachtet werden, so ist die auf den Aequator bezogene Angabe die nähere; wesshalb auch seit der Zeit Flamsteeds, von welcher an diese Beobachtungsart die allgemeine ist, die Oerterverzeichnisse der Fixsterne nur Rectascension und Declination angeben. Soll dagegen der aus einer Theorie der Bewegung der Erde hervorgehende Ort der Sonne an der Himmelskugel angegeben werden, so muss zunächst der auf die Ecliptik bezogene gesucht werden, weil die Bewegung in diesem grössten Kreise selbst vor sich geht; seine Angabe ist auch die einfachere, weil sie, wegen der verschwindenden Breite, allein in der Länge besteht.

Daher wird auch die theoretische Bestimmung des Ortes eines Planeten an der Himmelskugel, welche von seinem Orte im Raume und dem der Erde ausgeht, wenn sie auf die Ecliptik bezogen wird, die einfachere. — Vor der Einführung der Messung der Rectascensionsunterschiede durch die Zeit, war eine andere Beobachtungsart des unbekannten Orts eines Gestirns die gebräuchlichere: man mass nämlich seine Entfernungen von zwei Fixsternen, deren Oerter man kannte, wodurch das Kugeldreieck zwischen diesen drei Punkten, also auch der gesuchte Ort, durch Zeichnung auf einer Himmelskugel oder durch Rechnung bekannt wurde. Da diese Zeichnung oder Rechnung gleichviel Arbeit fordert, die als bekannt angenommenen Oerter mögen auf die Ecliptik oder auf den Aequator bezogen sein, die erstere Beziehung aber den erwähnten Vortheil in der Ableitung des Orts aus der Theorie gewährt, und seine Vergleichung mit dem beobachteten jedesmal nothwendig wird, wenn der letztere nützlich werden soll, so wurden die Oerter der Fixsterne in den älteren Verzeichnissen mit Becht durch Länge und Breite angegeben.

Die erste Frucht des Hipparchschen Sternverzeichnisses war die Entdeckung einer langsam vor sich gehenden Veränderung der Längen der Fixsterne, während ihre Breiten ungeändert blieben. Sie ging aus der Vergleichung desselben mit wenigen, anderthalb Jahrhunderte vorher gemachten Beobachtungen des frühesten der Alexandrinischen Astronomen, Timocharis, hervor, hat sich aber, durch die Ver-

gleichung aller Sternverzeichnisse, von dem Hipparchschen an, bestätigt. Diese Veränderung ist ein fortwährendes, jährlich etwas mehr als 50 Secunden betragendes, gemeinschaftliches Zunehmen der Längen aller Fixsterne: sie findet ihre einfache Erklärung in einem gleich grossen Zurückgehen des Punkts, von welchem an die Längen gezählt werden, d. i. des Frühlingsnachtgleichenpunkts; sie wird durch die (uneigentliche) Benennung des Vorrückens der Nachtgleichenpunkte, oder der Praecession, bezeichnet. Da die Drehungsaxe der Erde die Ebene des Aequators senkrecht durchschneidet, so können die Durchschnittspunkte der letzteren und der Ebene der Ecliptik, sich nicht anf dieser bewegen, ohne dass die Drehungsaxe sich auch bewegt: indem sie mit der auf der Ebene der Ecliptik senkrechten Linie einer, der Schiefe der Ecliptik gleichen (etwa 23½ Grad betragenden) Winkel macht, durchläuft der Pol des Aequators, insofern dieser Winkel — nahe übereinstimmend mit der Wirklichkeit — unveränderlich ist, einen, an der Himmelskugel um den Pol der Ecliptik, mit dem Halbmesser von 23½ Grad beschriebenen Kreis; oder, was dasselbe ist, die Drehungsaxe der Erde beschreibt die Oberfläche eines Kegels, dessen Axe senkrecht auf der Ebene, in welcher die Erde um die Sonne läuft, durch den Erdmittelpunkt geht. Zu der Vollendung des Umlaufes des Pols des Aequators um den der Ecliptik (oder der Erdaxe um die Axe des Kegels) sind offenbar so viele Jahre erforderlich, als die in Secunden ausgedrückte jährliche

Bewegung in der Anzahl Secunden des ganzen Umkreises (360 mal 60 mal 60, oder 1296000) enthalten ist, nämlich 25 bis 26 Jahrtausende. In der Wirklichkeit erklärt diese Ursache die Aenderungen der Oerter der Fixsterne nur im Ganzen; wie gewöhnlich vermischen sich mit ihrer Wirkung noch die geringeren Wirkungen anderer Ursachen. So wie die letzteren aber erst in weit späterer Zeit, und nicht allein durch unmittelbare Beobachtung bekannt geworden sind, so kann auch hier noch nicht von ihnen, sondern allein von der ersteren die Rede sein.

Indem die Lage der Ecliptik, und mit ihr die Breiten der Sterne ungeändert bleiben, auch die Längen nur die von der Bewegung ihres Anfangspunkts hervorgehenden Aenderungen erfahren, hat die Präcession keinen anderen Einfluss auf die auf die Ecliptik bezogenen Oerter der Fixsterne, als die der Zeit verhältnissmässige Vergrösserung ihrer Längen. Von der Zeit der Einführung der Sternbilder an, ist diese Vergrösserung schon auf wenigstens 30 Grad gestiegen; der Frühlingsnachtgleichenpunkt, welcher sich damals wahrscheinlich am Anfange des ersten der 12 Sternbilder des Thierkreises — des Widders — befand, ist jetzt schon durch das letzte — die Fische — fast durchgegangen, und wird erst 25 bis 26 Jahrtausende nach jener Einführung wieder in seiner damaligen Lage sein. — Weit weniger einfach ist die Wirkung derselben Ursache auf die auf den Aequator bezogenen Oerter der Sterne. Indem sein Pol einen Kreis von 23½ Grad Halbmesser um den

Pol der Ecliptik beschreibt, gelangt er nach und nach in die Nähe aller diesem Kreise nahen Fixsterne; während, unter den helleren derselben, er jetzt α des kleinen Bären sehr nahe ist, wird er später γ, β, α des Cepheus, α, δ des Schwans, α der Leyer und α des Drachen mehr oder weniger nahe kommen. Die Punkte, wo er sich jetzt befindet, und wo er sich nach einem halben Umlaufe (etwa 13 Jahrtausenden) befinden wird, sind einen Durchmesser des Kreises (etwa 47 Grad) von einander entfernt, so dass der erstere zu dieser Entfernung von ihm, oder zu der Declination von 43 Grad gelangen wird; allgemeiner sind die Grenzen, zwischen welchen die Declination eines Punkts der Himmelskugel sich verändert, die Summe und der Unterschied seiner Breite und der Schiefe der Ecliptik. Auf diese Art entstehen aus der so langsamen rückgängigen Bewegung der Nachtgleichenpunkte, im Verlaufe der Zeit, grosse Veränderungen der Declinationen der Sterne: gegenwärtig nicht über den Horizont eines bestimmten Orts der Erde gelangende Sterne werden sich einst 47 Grade über ihn erheben, während andere, die jetzt bis zu dieser Höhe steigen, nach und nach zu verschwindender gelangen. Wenn der Pol des Aequators seinen ganzen Umlauf vollendet hat, kehrt Alles wieder zu seinem früheren Zustande zurück; der Ort jedes Sterns, er mag auf die Ecliptik oder auf den Aequator bezogen sein, wird, wenn der Stern selbst sich nicht bewegt hat, wieder der anfängliche. Die kleinen jährlichen Veränderungen der Rectascension und Declination, können,

aus der Grösse der jährlichen Praecession, für den jedesmaligen Ort eines Sterns an der Himmelskugel, leicht berechnet werden; indem der letztere sich langsam verändert, sind auch sie nicht von beständiger Grösse. — Indem die Veränderung der auf die Ecliptik bezogenen Sternörter weit einfacher ist, als die Veränderung der auf den Aequator bezogenen, so ist die frühe Kenntniss der Praecession, ohne Zweifel der ersteren Einrichtung der alten Sternverzeichnisse zu verdanken. Die Bewegung der Drehungsaxe der Erde, welche durch sie an den Tag gelegt wird, ist eine Eigenthümlichkeit der Bewegung der Erde um ihren Schwerpunkt; eine Erscheinung, die zu den merkwürdigsten im Weltgebäude gehört, und deren Erklärung darzustellen, ich später versuchen werde.

Der sechs Jahrhunderte langen Blüthezeit der Astronomie in den Morgenländern, verdanken wir mehrere Oerterverzeichnisse der Fixsterne; das berühmteste derselben dem Enkel Tamerlans Ulug-Begh, der bis zum J. 1449 in Buchara herrschte und in Samarkand residirte. Seine Vergleichung mit dem Hipparchschen Verzeichnisse, dem es in Art und Umfang ähnlich ist, führte zu genauerer Kenntniss der Grösse der jährlichen Praecession. — Tycho de Brahe's Verzeichniss enthält die Oerter von etwa 1000 Fixsternen für das Jahr 1600, durch zwanzigjähriges Zusammenwirken Tychonischer Einsicht in alle Theile der Astronomie mit Tychonischem Fleisse zu einer Sicherheit gebracht, welche ihn die Richtigkeit der einzelnen Minute erwarten liess; eine

Sicherheit, von welcher die früheren Sternverzeichnisse weit entfernt bleiben. Von ähnlich grossem Werthe ist das etwa gleichzeitige Verzeichniss des Landgrafen Wilhelm IV. von fast 400 Sternen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass man die zwischen beiden Verzeichnissen vorkommenden, oft bis auf mehrere Minuten steigenden Unterschiede, in engere Grenzen zurückführen würde, wenn man die Beobachtungen Beider nocheinmal untersuchen, und dabei Kenntnisse benutzen wollte, welche erst spätere Zeit geliefert hat. So einsichtig und fleissig durchgeführte Arbeiten erfüllten nicht allein ihren unmittelbaren Zweck — den Zustand des Fixsternenhimmels so genau kennen zu lehren, als die damalige Zeit möglich erscheinen liess — sondern sie legten auch allen übrigen Theilen der Astronomie einen festen Grund. Wir haben wichtige Folgen hiervon, schon in den Beobachtungen der Planeten kennen gelernt, indem diese nur durch die zuverlässige Bestimmung der Fixsterne, auf welche sie bezogen wurden, die Genauigkeit erlangen konnten, welche zur Herbeiführung der Entdeckungen Keplers erforderlich war. — Hevel, dessen Beobachtungskunst die Tychonische war, lieferte für das Jahr 1660 ein neues Verzeichniss von Fixsternen, deren Zahl er durch die Aufnahme vieler, welche Tycho für zu lichtschwach gehalten haben mogte um sie genau beobachten zu können, auf 1549 brachte. Ueber den inneren Werth dieses Verzeichnisses, vergleichungsweise mit dem Tychonischen, habe ich kein Urtheil; um ihn richtig würdigen zu können, müsste man sich in weitläuftige Unter-

suchungen vertiefen, welche jedoch durch wissenschaftliches Interesse nicht gerechtfertigt werden würden, da das viel vollkommenere Sternverzeichniss Flamsteeds, mit dem Hevelschen der Zeit nach nahe zusammentrifft. *).

Die grosse Vervollkommnung der Beobachtungskunst, welche mit Flamsteed anfängt, hatte auch eine bedeutend genauere und vollständigere Kenntniss der Oerter der Fixsterne zur Folge; die letztere dadurch, dass das an dem Quadranten angebrachte Fernrohr möglich machte, die durch die Sichtbarkeit der Sterne für das blosse Auge früher gegebene Grenze zu überschreiten. Flamsteeds Verzeichniss, welches zugleich mit den ihm zum Grunde liegenden Beobachtungen bekannt wurde, enthält die Rectascensionen und Declinationen von fast 3000 Fixsternen für das

---

*) Hevel vergleicht seine Einsicht und seine Leistungen sehr oft mit denen Tychos und gelangt dadurch immer zu einem ihm günstigen Resultate. Er wusste sich brauchbare Instrumente zu verschaffen und wandte sie fleissig an, befolgte auch Tychos Vorschriften in allen wesentlichen Theilen. Alles dieses verdient nicht allein keinen Tadel, sondern Lob, zeigt aber auch nicht eigene Einsicht Hevels. Da er diese dennoch der Tychonischen oft gleichstellt, und dadurch die Schärfe seines Urtheils verdächtig macht, auch Vieles, was er zur Bestätigung der Richtigkeit seiner Instrumente und Beobachtungen anführt, jetzt, nach vervollständigten Kenntnissen, die Annahme wahrscheinlich macht, dass er unter seinen Beobachtungen solche ausgewählt habe, welche ihm den gesuchten Bestätigungen am günstigsten erschienen, so halte ich Misstrauen gegen Hevels eigenes, seinem Sternverzeichnisse sehr günstiges Urtheil für gerechtfertigt, wesshalb ich auch dieses nicht wiederholt habe.

Jahr 1690; aus diesen durch Rechnung abgeleitet auch ihre Längen und Breiten. Wir werden später sehen, dass das selbstständige, an sich offenbare, Interesse der Kenntniss der Oerter der Fixsterne, auch aus Gründen, welche zu Flamsteeds Zeit sich noch nicht geltend machen konnten, sich mit dem Fortschreiten der Zeit gesteigert hat; aber die Vergrösserung der Zahl der bekannten Fixsternörter ist auch nothwendig geworden, um den Ort eines beweglichen Gestirns zu jeder Zeit bestimmen zu können. Seit der Einführung der Messung der Rectascensionsunterschiede durch die Zeit, besitzen nämlich die Astronomen zahlreiche und einfache Mittel, durch deren Anwendung der Ort jedes Punkts an der Himmelskugel, durch seine Vergleichung mit dem bekannten Orte eines ihm sehr nahen Fixsterns gefunden werden kann, ohne dass es nöthig wird, die Durchgänge beider durch den Meridian abzuwarten; ihre Anwendbarkeit beruhet auf der Voraussetzung bekannter Sternörter in allen Gegenden des Himmels, damit unter denselben stets ein dem zu beobachtenden Gestirne sehr naher gefunden werden könne. In weder seltenen, noch unwichtigen Fällen, ist diese Methode entweder die allein anwendbare, oder die vortheilhaftere, z. B. in den Fällen der Kometen. Sie würde das spätere Bestreben, eine noch weit grössere Zahl von Fixsternörtern, als die Flamsteedsche, zu bestimmen, rechtfertigen, wenn es auch nicht durch selbstständiges Interesse gerechtfertigt werden könnte.

Flamsteed bemerkte, durch seine Beobachtungen, Veränderungen der Zenithdistanzen des Polarsterns, welche noch unbekannte Ursachen andeuteten, indem sie von denen verschieden waren, die die Präcession allein hervorbringt; Aehnliches hatten auch der französische Astronom Picard und der dänische Römer bemerkt. Aber die Erklärung dieser Veränderungen verdanken wir erst Bradley, der dadurch einen der merkwürdigsten und wichtigsten Fortschritte der Astronomie machte; einen Fortschritt, ohne welchen jede Bemühung, diese zur grösseren Vollkommenheit zu bringen, unfruchtbar geblieben sein würde. Obgleich ich das diese Entdeckung Betreffende zum Gegenstande der folgenden Unterhaltung machen werde, so muss ich ihrer doch auch hier erwähnen, um nicht unverständlich zu lassen, wie man die Kenntniss der Oerter der Fixsterne zu noch weit grösserer Sicherheit hat bringen können, als die durch Flamsteed erlangte ist. Zwei ganz verschiedene Ursachen bringen die Veränderungen hervor, von welchen hier die Rede ist. Die eine ist eine Abweichung der Bewegung der Erdaxe von der ihr durch die Präcession allein vorgeschriebenen; eine fortwährende, langsame Schwankung derselben. — die Nutation, deren Grösse bis auf etwa 9 Secunden steigt, und welche sich in 18 bis 19 Jahren stets erneuert. Indem die Lage der Erdaxe, also auch des Aequators dadurch geändert wird, erhält sie offenbar Einfluss auf die, auf diesen bezogenen Oerter der Gestirne; oder die Rectascension und Declination eines Sterns erfahren

periodische, in der angegebenen Zeit wieder zu gleicher Grösse zurückkehrende Veränderungen. Die andere Ursache ist eine Verschiedenheit der Richtung, in welcher ein Gestirn gesehen wird, von der in welcher es sich wirklich befindet; die sogenannte Abirrung seines Lichts — die Aberration. Auch diese ist periodisch, aber sie erneuert sich in derselben Zeit, in welcher die Erde um die Sonne läuft, in einem Jahre; ihr Einfluss auf den Ort eines Gestirns an der Himmelskugel kann bis auf etwas mehr als 20 Secunden steigen, und äussert sich in jährlich wiederkehrenden Aenderungen seiner Rectascension und Declination. Die Theorie der Einflüsse beider Ursachen ist vollständig bekannt, so dass man sie für jeden Stern und für jede Zeit durch Rechnung finden kann. — Aus den angegebenen Grössen der Nutation und Aberation geht hervor, dass diese, die sich durch Beobachtungen verrathenden — die wahren — Oerter eines Sterns, bis auf fast eine halbe Minute von den ohne sie stattfindenden — den mittleren — Oertern entfernen können, dass also die Entbehrung ihrer Kenntniss einen, aus einer richtigen Beobachtung gefolgerten Ort des Sterns, so viel fehlerhaft erscheinen lassen könnte. Flamsteed musste also beträchtliche Verschiedenheiten in seinen zu verschiedenen Zeiten gemachten Beobachtungen des Polarsterns finden. Die weitgetriebene Genauigkeit, welche die Beobachtungen von Bradley an erhalten haben, hätte eben so wenig davon befreien können und würde damit ganz nutzlos geblieben sein, wenn sie nicht

von der glücklichen Entdeckung der Nutation und Aberation begleitet worden wäre.

Um die Arbeiten der Astronomen der neueren Zeit, insofern sie die Vervollständigung der Kenntniss der Oerter der Fixsterne beabsichtigen, ganz verständlich zu machen, muss ich noch Einiges über die Art sagen, wie diese Oerter aus den unmittelbaren Beobachtungen hervorgehen. Das die Declinationen Betreffende habe ich schon erläutert: nämlich wie die astronomische Strahlenbrechung bekannt werden kann, wie also beobachtete Zenithdistanzen von ihrem Einflusse befreiet werden können; ferner, wie die Polhöhe des Beobachtungsorts, durch welche und die Zenithdistanz eines Gestirns seine Declination gegeben ist, bekannt wird; endlich wie diese wahre Declination von den Einflüssen der Nutation und Aberration, durch Rechnung befreiet, oder in die mittlere verwandelt werden kann, welche dann die für die bestimmte Zeit, für welche das beabsichtigte Verzeichniss die Sternörter enthalten soll, geltende wird, indem ihr noch die Aenderung hinzugesetzt wird, die sie, durch die Präcession, zwischen dieser Zeit und der der Beobachtung erfährt. — In Beziehung auf die Art der Bestimmung der in das Verzeichniss aufzunehmenden Rectascensionen werde ich nur erläutern dürfen, wie eine von ihnen gefunden wird; denn die Rectascension eines Sterns als bekannt vorausgesetzt, wird die jedes anderen durch Beobachtung ihres Unterschiedes von jener und die Berechnung des Einflusses gefunden, welchen die Präcession, Nutation

und Aberation zur Zeit der Beobachtung darauf äussern. Die Richtigkeit aller Rectascensionen wird dann von der Richtigkeit der einen, ihnen zum Grunde gelegten abhängig: ein Fehler der letzteren würde der gemeinschaftliche aller werden, oder er würde die Lage aller Fixsterne gegen den Frühlingsnachtgleichenpunkt um seine Grösse unrichtig machen. Indem dieser Punkt nur durch die Bewegung der Sonne am Himmel erkannt werden kann, kann die zum Grunde zu legende Rectascension nur aus Beobachtungen der Sonne abgeleitet werden. Als Princip ihrer Bestimmung kann angesehen werden, dass zwei Punkte, entweder beide in der nördlichen, oder beide in der südlichen Hälfte der Ecliptik, gleiche Declinationen haben, wenn der eine eben so weit von dem einen Nachtgleichenpunkte, als der andere von dem anderen entfernt ist, wenn also die Summe ihrer Rectascensionen 180 Grad, oder ihre halbe Summe 90 Grad ist. Diesem Principe gemäss ist die halbe Summe zweier Rectascensionsunterschiede des Sterns von der Sonne, beobachtet wenn diese, bei ihrer Bewegung von Süden nach Norden und umgekehrt, zu einander gleichen Declinationen gelangt, um 90 Grad verschieden von der Rectascension des Sterns; welche also durch die Beobachtung der Gleichheit zweier Declinationen der Sonne gefunden werden kann, und indem die Grösse dieser Declinationen nicht dabei in Betracht kommt, auch von etwanigen Unvollkommenheiten der Kenntniss aller, Einfluss auf diese erhaltenden Bestimmungen nicht beeinträchtigt wird. Man wird

unter den im Laufe eines Jahres, im Meridian beobachteten Declinationen der Sonne zwar viele einander nahe, aber nicht leicht zwei vollkommen gleiche finden; allein man wird jede der bei dem Aufsteigen der Sonne gemachten Beobachtungen, durch eine leichte Rechnung mit einer bei ihrem Absteigen gemachten vergleichbar machen, und daher aus diesen Beobachtungen viele Bestimmungen der Rectascension des Sterns ableiten können. Dass auch hier die Präcession, Nutation und Aberation zu berücksichtigen sind, ist offenbar. Der Stern, dessen Rectascension auf diese Art, durch hinreichend lange Fortsetzung der Beobachtungen mit der grössten Genauigkeit bestimmt wird, wird dann der Fundamentalstern für alle übrigen Rectascensionen.

Um zur Bestimmung der Rectascensionen führende Beobachtungen auch an Tagen machen zu können, an welchen die Beobachtung der Culminationszeit des Fundamentalsterns verhindert wird (z. B. durch wolkigen Himmel) werden mehrere Fundamentalsterne nöthig, d. h. mehrere Sterne, deren Rectascensionen so genau bestimmt sind, dass jeder von ihnen, mit gleichem Rechte zum Vergleichungspunkte für andere gewählt werden kann. Diese Sterne zusammen geben dann das Fundamentalverzeichniss. Es wird erlangt, wenn die Rectascensionen, die es enthalten soll, zuerst durch oft wiederholte Beobachtung ihrer Unterschiede, mit der äussersten, erreichbaren Genauigkeit relativ festgesetzt werden, und dann das Ganze, wie vorher erläutert, in Beziehung zu dem Frühlingsnachtgleichen-

punkte gesetzt wird. Ein solches Fundamentalverzeichniss vorausgesetzt, werden täglich die Culminationszeiten so vieler seiner Sterne beobachtet, als die Umstände verstatten. Die wahre, aus dem Verzeichnisse abgeleitete Rectascension jedes der beobachteten Sterne, in Zeit verwandelt, ist die Sternenzeit seiner Culmination, und ihre Vergleichung mit der beobachteten zeigt, wie der Stand der Uhr sich gegen Sternenzeit verhält. Die so erkannte Verbesserung des Standes der Uhr soll, wenn diese während eines Sternentages genau 24 Stunden durchläuft (was hier, der Kürze wegen, vorausgesetzt werden mag) durch jeden beobachteten Fundamentalstern gleich gross gefunden werden; in dem Mittel aus allen, aus den Beobachtungen jedes Tages hervorgehenden Resultaten dieser Art, wird der Einfluss kleiner, Unterschiede der einzelnen erzeugender, Unvollkommenheiten der Beobachtungen noch vermindert. Seine Hinzusetzung zu der beobachteten Zeit der Culmination irgend eines Gestirns, ergiebt unmittelbar ihre Sternenzeit, also auch seine wahre Rectascension.

Durch das Gesagte wird anschaulich, wie die Bestimmung jeder Rectascension durch Meridianbeobachtungen, immer von dem Fundamentalverzeichnisse ausgeht, wie also seine Genauigkeit die Bedingung des Gelingens aller astronomischen Beobachtungen wird. Wie viele und welche Sterne es enthalten soll, bleibt zwar dem Gutdünken überlassen, aber ihre Zahl soll nicht so gross sein, dass sie die Verwendung

des äussersten Fleisses auf die Bestimmung jedes einzelnen hinderte, und dass ihre tägliche Beobachtung anderen Beobachtungen unnöthig, oft störend in den Weg träte; auch soll sie nur helle, am Tage immer gut sichtbare Sterne, enthalten. Bradley wählte, diesen Bedingungen gemäss, 16 Fundamentalsterne, allein sein Nachfolger Maskelyne vermehrte sie auf 36. Ich glaube, dass dieses zu viele sind; auch finden sich mehrere darunter, deren Culminationszeiten so wenig voneinander verschieden sind, dass ihre Beobachtungen sich gegenseitig hindern; endlich sind einige davon so wenig hell, dass sie oft nicht am Tage gesehen werden können. Obgleich daher die Weglassung eines Theils der Maskelyneschen Fundamentalsterne wohl vortheilhafter gewesen wäre, so scheint mir doch ihre Anwendung während einer langen Zeit, eine jetzt noch zu treffende Aenderung zu verbieten, wesshalb ich sie mir auch nicht erlaubt, sondern in meinen eigenen Untersuchungen dieser Grundlage der beobachtenden Astronomie, alle 36 beibehalten habe. Fortwährendes Zurückkommen auf solche Untersuchungen beabsichtigt nicht allein die Vermehrung der Genauigkeit der Bestimmung der Oerter der Sterne für eine gewisse Zeit, sondern auch die Erkenntniss ihrer mittleren Veränderungen, welche, wie wir bald in grösserer Ausdehnung kennen lernen werden, mehr oder weniger von der Präcession verschieden sind und deren Abweichungen von dieser, keinem allgemeinen Gesetze folgen, sondern jedem Sterne eigenthümlich angehören.

Wenn beträchtliche Arbeiten, die sich auf die Vervollkommnung des Fundamentalverzeichnisses bezogen, der Astronomie — nicht vorzugsweise ihrem, die Fixsterne betreffenden Theile — zum Nutzen gereichen, so fehlt es auch nicht an sehr ausgedehnten, diesem Theile zugewandten. Bradley verfolgte die Absicht, alle Sterne des Flamsteedschen Verzeichnisses neu zu beobachten, nahm aber gelegentlich noch einige andere hinzu, so dass die — ein halbes Jahrhundert nach ihm ausgeführte — Untersuchung und Berechnung seiner vollständigen Beobachtungsreihe, eine Zahl von 3222, für das Jahr 1755 bestimmter Sternörter, meistens aus oft wiederholten Beobachtungen abgeleitet, hat liefern können. Diesen Beobachtungen gleichzeitig waren die von Tobias Mayer und Lacaille, wovon die letzteren, zum Theil am Vorgebirge der guten Hoffnung ausgeführt, auch von den Sternen in dem Theile des südlichen Himmels, der bei uns unsichtbar bleibt, Rechenschaft geben; beide grosse Astronomen wurden jedoch von nicht so vollständigem Apparate unterstützt als Bradley. Der nächste bedeutende Fortschritt war ein Verzeichniss von 6748 Sternörtern, welches Piazzi aus seinen eigenen Beobachtungen für das J. 1800 ableitete, und durch ihre längere Fortsetzung wesentlich verbessert, auch auf 7646 Sterne ausgedehnt, später noch einmal erscheinen liess. Dieses Piazzische Sternverzeichniss ist eine der grössten und eine der erfolgreichsten Arbeiten, deren die Astronomie sich je erfreuet hat. Einige seiner Erfolge wollen wir jetzt kennen lernen.

Die früheste Annahme, dass die Fixsterne stets in gleicher Stellung gegeneinander bleiben, kann nur von ihren mittleren, nicht von ihren wahren Oertern gelten, indem die Aberation die Richtung, in welcher jeder Stern erscheint, veränderlich macht. Allein die Einfachheit dieser Annahme ist kein haltbarer Grund für die relative Unveränderlichkeit der mittleren Oerter der Sterne, sondern die Beobachtungen müssen für oder wider sie entscheiden. Wenn auch die alten Beobachtungen keine Bewegungen unter den Sternen verrathen haben, diese vielmehr im Ganzen noch so gruppirt sind wie zu Hipparchs Zeit, so folgt doch daraus nicht, dass nicht ungleich genauere Beobachtungen langsame Bewegungen verrathen können. In der That hatte Edmund Halley schon im Jahre 1718 einen Verdacht gegen die Unveränderlichkeit der Oerter einiger Sterne (abgesehen von der Präcession, welche nicht diese, sondern den Aequator bewegt) begründet, und in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts war die eigene Bewegung mehrerer derselben schon unzweifelhaft geworden; aber der Besitz zweier Sternverzeichnisse wie das Piazzische und das kurz nach diesem bekannt gewordene, aus Bradleys Beobachtungen abgeleitete, musste erworben werden, ehe die Kenntniss der eigenen Bewegungen der Sterne die wünschenswerthe Ausdehnung und Sicherheit erlangen konnte. Denn fast 3000 Sterne sind in beiden, für 1755 und 1800 bestimmt, und die Sicherheit ihrer Bestimmung ist so gross, dass eine eigene Bewegung, wenn sie jährlich

auch nur ein Zehntel einer Secunde beträgt, nicht leicht unbemerkt bleiben kann. Ich habe unter 2959 Sternen 1375, also fast die Hälfte, gefunden, deren Bewegung diese Grenze erreicht; 71 Sterne bewegten sich jährlich mehr als eine halbe, 18 mehr als eine ganze Secunde.

Man sah also, dass die eigene Bewegung eine allgemeine Eigenschaft der Fixsterne ist, dass sie, fast bei der Hälfte derselben, sich schon in zehn Jahren zu einer ganzen Secunde anhäuft; dass also die Uebertragung des Orts eines Sterns von der Epoche eines ihn angebenden Verzeichnisses auf eine andere, beliebige Zeit, wenn sie Sicherheit gewähren soll, nicht allein die Berechnung des Einflusses der Präcession auf seine Rectascension und Declination, sondern auch die Kenntniss der ihm eigenthümlichen Veränderungen beider fordert. Hieraus wird deutlich, dass die Bestimmung des Orts eines Sterns für zwei Epochen erforderlich ist, um ihn, unter der Voraussetzung der gleichbleibenden Schnelligkeit seiner eigenen Bewegung, für eine beliebige dritte kennen zu lernen. Während früher die, ein für allemal zu erlangende Kenntniss der Präcession hinzureichen schien, um den, in einem Verzeichnisse enthaltenen mittleren Ort eines Sterns auf eine andere Zeit zu übertragen, muss er jetzt, nach möglichst langer Zeit, noch einmal durch Beobachtung festgesetzt werden, damit auch die zur Uebertragung erforderliche eigene Bewegung bekannt werde. Offenbar wird dadurch eine neue und sehr grosse Forderung an die Astronomen

cession ergeben haben, obgleich das letztere beträchtlich genauer als das Piazzische, und auch von dem ersteren 75 Jahre, statt 45, entfernt ist.

Ein dritter Erfolg des Piazzischen Verzeichnisses ist der Vortheil, der aus der grossen Zahl seiner Sterne für die Beobachtungen anderer Gestirne, z. B. der Kometen, gezogen werden kann (S. 579). Aber in dieser Hinsicht ist es von zwei anderen Arbeiten, welche die Bestimmung noch viel zahlreicherer Sterne zum Zwecke hatten, übertroffen worden. Die erste von diesen wurde von Lalande entworfen und von seinen Gehülfen auf der Sternwarte der École militaire in Paris ausgeführt; sie ist eine Reihe von Beobachtungen der Culminationszeiten und Zenithdistanzen des grössten Theils der Sterne bis zur etwa 8ten Grösse, welche zwischen dem Nordpole und dem 24. Grade der südlichen Declination vorhanden sind. Diese Beobachtungen fangen mit 1789 an und endigen sich 1800; ihre Zahl steigt auf 50000 und sie bestimmen, da die meisten Sterne nur einmal beobachtet wurden, eine nicht viel kleinere Zahl derselben. — Die zweite der erwähnten Arbeiten habe ich auf der Königsberger Sternwarte ausgeführt; sie ist der früheren ähnlich, unterscheidet sich aber von dieser dadurch, dass keiner der unzähligen Sterne der 9ten Grösse, welche den Himmel allenthalben bedecken, absichtlich unbeobachtet gelassen ist. Ich habe ihr die heiteren Nächte zwischen dem August 1821 und dem Januar 1833 gewidmet und in dieser Zeit die Zahl der Beobachtungen über

75000 gebracht. Die dadurch bestimmten Sterne befinden sich in dem Gürtel der Himmelskugel zwischen dem 45sten Grade der nördlichen und dem 15ten Grade der südlichen Declination. — Bei beiden Beobachtungsreihen hatte man den Himmel in Zonen von 2 zu 2 Grad der Declination eingetheilt, von deren einer in jeder heiteren Nacht ein so grosser Theil beobachtet wurde, als die Umstände erlaubten. Diese Anordnung machte möglich, den Uebergang von den Beobachtungen in ihrer ursprünglichen Gestalt, zu den mittleren Oertern der Sterne für resp. 1800 und 1825, durch eine für jede Zone berechnete Hülfstafel so zu erleichtern, dass die ersteren kaum weniger bequeme Anwendung finden, als ein die letzteren enthaltendes Verzeichniss; welches man, mittelst derselben Hülfstafel, zwar sehr leicht aus jenen ableiten könnte, welches aber den wesentlichen Vortheil entbehren würde, Irrthümer in Schrift oder Druck gleich leicht zu verrathen. *)

So wie die Oerter der Sterne an dem in Europa sichtbaren Theile des Himmels, mit wachsender Genauigkeit und Vollständigkeit bekannt geworden sind, so haben sich auch an die schon erwähnte, die den

*) Solche Irrthümer haben oft Sterne in die Verzeichnisse gebracht, welche nie am Himmel gestanden haben. Sie sind wenig zu fürchten, wenn die Beobachtungen jedes Sterns oft wiederholt werden; aber bei einmaliger Beobachtung kann selbst die Anwendung der überlegtesten Vorsicht nur ihre Gefahr vermindern, nicht völlig gegen sie sichern, am wenigsten in Gegenden des Himmels, wo ein Gedränge von Sternen den Beobachter übereilt.

Südpol umgebenden Sterne betreffende Arbeit Lacailles, andere Arbeiten angereihet, welche auch hier einen ähnlichen Erfolg herbeigeführt haben und noch herbeiführen. Die Errichtung der ersten Sternwarte auf der südlichen Halbkugel der Erde, verdanken wir Sir Thomas Brisbane; auf ihr (in Paramatta) sind, von 1822 bis 1826, von dem genannten eifrigen und verdienstvollen Astronomen und von den Herren Rümker und Dunlop Beobachtungen gemacht, welche die Oerter von 7385 Sternen bestimmt haben. Ferner hat die Ostindische Compagnie eine Sternwarte auf St. Helena gegründet, auf welcher Johnson die Oerter von 606 Sternen, mit grosser Genauigkeit festgesetzt hat. Endlich ist für die fortgesetzte Beobachtung des südlichen Himmels, durch eine ähnliche Anstalt gesorgt worden, welche die englische Regierung auf dem Vorgebirge der guten Hoffnung unterhält.

Die Grösse der Fixsterne, deren ich schon einige male erwähnt habe, ist nicht auf die Durchmesser, unter welchen sie sich zeigen, noch weniger auf ihre Körper, zu beziehen. Durchmesser von mehreren Minuten, welche die alten Astronomen den Fixsternen beilegten, bezeichnen nur die Vergrösserung, in welcher helles Licht auf dunkelem Grunde sich dem undeutlich sehenden Auge immer darstellt; die Fernröhre zeigen dieses Licht in einem desto kleineren Kreise zusammengedrängt, je stärker und besser sie sind. Sie haben wirklich die Durchmesser der Fixsterne bis auf ein oder zwei Zehntel einer Secunde verkleinert;

und wenn sie sie nur in dieser unerheblichen Grösse, nicht als ganz unmessbar klein zeigen, so liegt der Grund davon nur in der Natur der Instrumente und des Sehens. Unter Grösse eines Fixsterns ist daher die Bezeichnung seiner Helligkeit zu verstehen. Diese geht von der grössten des Sirius zu der kleinsten der in den stärksten Fernröhren kaum sichtbaren Sterne, durch alle Zwischenstufen über; allein schon die alten Astronomen haben sechs Helligkeitsgrade oder Grössen angenommen, deren erste die hellsten Sterne, die 6te die wenigst hellen, die ein Auge mittlerer Stärke noch zu unterscheiden vermag, enthält; an diese 6 Grössen haben die Fernröhre eine unbestimmte Zahl höherer angereihet. Zur ersten Grösse zählt man nur 19 Sterne, zur zweiten schon über 60, zur 3., 4., 5. und 6. etwa 200, 400, 1000, 2300; so dass das unbewaffnete Auge ohngefähr 4000 am ganzen — jederzeit nur halb über dem Horizonte befindlichen — Himmel zu unterscheiden vermag.

Die Grenzen der einzelnen Grössen sind nicht nach einem bestimmten Masse der Lichtstärke, sondern nur so gewählt, dass der Unterschied zwischen jeder Grösse und der nächsthöheren oder niedrigern hinreichend gross wurde, um sehr auffallend zu sein. Indem die späteren Astronomen sich bemühet haben, der von den früheren getroffenen Wahl getreu zu bleiben, ist die Bedeutung jeder Grösse eine feste geworden, ohne dass man das ihr eigenthümliche Lichtverhältniss in Zahlen anzugeben vermögte. Indessen ist die Festsetzung desselben wünschenswerth.

Sie fordert nicht allein, dass man die Grössen vieler Sterne durch oft wiederholte, aufmerksame Betrachtung bestimme, sondern auch, dass man die Lichtstärke jeder Grösse messe. Die Grössenangaben der Sterne, die man neben den Oertern derselben, in den Verzeichnissen findet, sind nicht mit der Aufmerksamkeit bestimmt worden, die man angewandt haben würde, wenn sie für den astronomischen Zweck der Verzeichnisse so wesentlich wären als die Oerter; aber neuerlich hat mein vortrefflicher Freund Argelander, die Grössen aller in unseren Gegenden mit blossen Augen sichtbaren Sterne auf das Sorgfältigste festgesetzt und dadurch die erste der beiden Forderungen erfüllt. Zur Erfüllung der zweiten hat der erfindungsreiche Steinheil Mittel gefunden, deren Erfolg unter der Voraussetzung ihrer genügenden Anwendung, ich nicht bezweifle und deren gehörige Benutzung mir daher wünschenswerth erscheint. Seine vorläufigen Versuche scheinen zu zeigen, dass jede niedrigere Grösse etwa dreimal so viel Licht hat als die höhere.

Indem ich versucht habe, zu erläutern, wie die, die Oerter der Fixsterne betreffenden Bemühungen der Astronomen, sowohl zur Entdeckung gewisser Bewegungen, die nur aus den Veränderungen dieser Oerter erkannt werden können, erforderlich, als auch die Bedingung waren, deren Erfüllung jeder Art astronomischer Beobachtungen, und damit jeder astronomischen Kenntniss, vorangehen musste, habe ich kaum Gelegenheit gehabt, des selbstständigen Interesses

zu gedenken, welches die möglichst vollständige Kenntniss der Fixsterne, mit denen der Himmel besäet ist, gewährt. Dieses Interesse ist nie verkannt worden. Hipparch und Tycho de Brahe haben es befriedigt, indem sie die Oerter aller, an ihren Beobachtungsörtern sichtbaren Sterne, bestimmten, deren Helligkeit gross genug war, um ihnen ihre zuverlässige Beobachtung möglich zu machen. Spätere Astronomen haben zwar die Zahl der bestimmten Sternörter bedeutend vermehrt, aber ihre Vollständigkeit bis zu der, ihren Instrumenten zugänglichen Grösse haben sie sich nicht zur Aufgabe gemacht. Flamsteed würde in seinem Instrumente kein Hinderniss gefunden haben, alle Sterne bis zur 7ten Grösse einschliesslich zu bestimmen *); die Beobachter auf der École militaire hätten die 8te Grösse zur Grenze wählen können; das noch lichtstärkere Instrument, womit ich die ähnlichen Beobachtungen auf der Königsberger Sternwarte gemacht habe, würde der Wahl der 9ten Grösse keine Schwierigkeit in den Weg gelegt haben. Allein um keinen Stern bis zu einer gewissen Grösse zu übergehen, hätte man sich nicht begnügen dürfen, die diese nicht überschreitenden Sterne zu beobachten, so wie sie in dem zufällig ge-

*) Vermuthlich sind wenigstens 10000 Sterne der 7ten Grösse am ganzen Himmel vorhanden. Die stark steigende Zahl jeder höheren Grösse wage ich nicht, auch nur beiläufig, zu schätzen.

richteten Fernrohre erschienen, sondern man hätte diese absichtlich auf jeden derselben richten und seinen Ort bestimmen müssen. Die hierzu erforderliche Kenntniss aller dieser Sterne und die näherungsweise ihrer Oerter, hätte nur eine, sie vollständig enthaltende Zeichnung des Himmels gewähren können, deren Entwerfung aber erst auf die Bestimmung der Oerter zahlreicher Sterne in jeder Gegend des Himmels folgen kann, indem diese das Augenmass des Zeichners, oder die Hülfsmittel, deren er sich zur Eintragung aller übrigen am Himmel vorhandenen Sterne bedient, unterstützen müssen. Ich betrachte die Erlangung der Kenntniss aller Sterne bis zur 9ten Grösse einschliesslich, als eine dem jetzigen Zustande der Astronomie angemessene Aufgabe, deren Auflösung der sie liefernden Zeit zur grossen Ehre gereichen wird. Nachdem die Zahl der bestimmten Sternörter in dem sich von 15 Grad südlicher bis zu 15 Grad nördlicher Declination erstreckenden Gürtel der Himmelskugel, durch meine Beobachtungen bis auf etwa 32000 gebracht war, hielt ich sie für hinreichend zur Grundlage der bis zur 9ten Grösse vollständigen Zeichnung; überzeugte mich auch davon, indem ich diese, für eine der sternreichsten Gegenden des Himmels wirklich ausführte. Hierauf gestützt, schlug ich der Königlichen Berliner Akademie der Wissenschaften, im Jahre 1825 vor, die allgemeine Zeichnung des Himmels durch ihr Ansehen und ihre Mittel zu unterstützen, namentlich

die Astronomen zum Zusammenwirken aufzufordern, so dass jeder von ihnen eine der 24 Karten, die diesen Gürtel vollständig darstellen sollten, liefere. Ich benutze diese Gelegenheit, um für die bereitwillige Aufnahme meines Vorschlages öffentlich zu danken. Der Erfolg davon ist jetzt in 14 schönen Karten hervorgetreten *), während die Bearbeitung der noch übrigen 10 von verschiedenen Astronomen zugesagt ist. Nach der Vollendung dieser 24 Blätter, werden zunächst die 24 ähnlichen, den zwischen 15 bis 45 Grade der nördlichen Declination liegenden Gürtel der Himmelskugel darstellenden, zu vollenden sein, indem meine Beobachtungen auch diesen Raum mit bestimmten Sternörtern angefüllt haben. So wie die Ausführung dieses umfangreichen Unternehmens fortschreitet, wird man auch die Oerter der dadurch zur Kenntniss gelangenden Sterne bis zur 9ten Grösse incl. durch Meridianbeobachtungen bestimmen, und so ein bis zu dieser Grenze vollständiges Sternverzeichniss erlangen können; welches noch umfangreichere Unternehmen neue und bedeutende Aufopferungen zwar fordern, aber durch seine Grossartigkeit, so wie durch seinen wissenschaftlichen Nutzen, auch belohnen wird. Jetzt, wo der grösste Theil der der Astronomie

*) Sie sind dem Eifer und dem Fleisse der Herren Argelander, Bremiker (2), Capocci, Göbel, Harding (2), Hussey, Inghirami, Knorre, Morstadt, Schwerd, Steinheil, Wolfers (2) zu verdanken.

gewidmeten Kräfte sich den Beobachtungen zugewandt hat, und wo diese neue, grosse Hülfsmittel erlangt haben, kann die Schwierigkeit der Hervorbringung eines vollständigen Verzeichnisses der Sterne bis zur 9ten Grösse, für leichter übersteiglich als früher gehalten werden.

Ueber den Mond.

In dem verflossenen Jahre haben wir den Gefährten der Erde, den Mond, genauer kennen gelernt, als wir ihn bis dahin kannten. Zwei vortreffliche Astronomen in Berlin, Beer und Mädler, haben sich, mehrere Jahre lang bemühet, seine Bekanntschaft zu erwerben, und dann sich beeifert, das Erworbene auch uns mitzutheilen. Sie haben ein schönes Bild des Mondes gezeichnet, auch die Gedanken, welche ihnen während der Zeichnung gekommen sind, in einem schönen Werke aufbewahrt. Der Besitz dieser beiden Schätze fordert mich auf, von dem Monde zu reden. Ich werde mich nicht beschränken, die physische Beschreibung desselben, auszugsweise zu wiederholen, sondern auch Astronomisches, was ihn angeht, erläutern.

Der Mond wendet uns, oberflächlich betrachtet, immer dieselbe seiner Hälften zu, allein, genauer genommen, zeigt er gewisse Schwankungen gegen unsere Gesichtslinie, welche kleine Theile seiner anderen Hälfte, an den Rändern der ersteren erscheinen und

wieder verschwinden lassen. Da wir immer genau dieselbe Hälfte desselben sehen würden, wenn die von seinem Mittelpunkte nach dem Auge gelegte gerade Linie, seine Oberfläche immer an demselben Punkte durchschnitte, so geht aus den wahrgenommenen Veränderungen der sichtbaren Hälfte hervor, dass die Oberfläche des Mondes, von dieser Linie, zu verschiedenen Zeiten, an verschiedenen Punkten durchschnitten wird; aber die Kleinheit der Veränderungen zeigt auch, dass die Durchschnittspunkte sich nie weit voneinander entfernen; oder, dass die von dem Mittelpunkte des Mondes nach dem Auge gelegte gerade Linie, nach und nach, durch Punkte der Oberfläche des Mondes geht, welche sämmtlich in einen kleinen Raum eingeschlossen sind. Wirklich sieht man einen kenntlichen Punkt des Mondes, der heute im Mittelpunkte seiner Scheibe erscheint, nie weiter als etwa ein Achtel des Durchmessers derselben, von dieser Mitte entfernt.

Indessen läuft der Mond, in jedem wahren Monate einmal, um die Erde. Da er, trotz dieser Umlaufsbewegung, immer fast dieselbe seiner Hälften zeigt, also ein und derselbe seiner Durchmesser immer nahe auf die Erde gerichtet ist, so erfährt dieser Durchmesser, und damit der ganze Körper des Mondes, während seines Umlaufs, zugleich eine Drehung; und wir sehen, trotz dieser Drehung, nur eine seiner Seiten, weil die Umlaufsbewegung, ihre Wirkung, beziehungsweise auf die Erde, näherungsweise wieder vernichtet. Von der Vereinigung dieser beiden Bewe-

gungen kann man eine anschauliche Vorstellung erhalten, wenn man sich eine Uhr, deren Zeiger in einem Monate seine Umdrehung vollendet, in derselben Zeit um das Auge herumgeführt denkt; ist der Zeiger Anfangs auf das Auge zugerichtet, so dass dieses nur seine Spitze sieht, und ist seine Bewegung, sowohl wie auch die Bewegung der Uhr um das Auge, gleichförmig, so wird die Spitze immer auf das Auge gerichtet bleiben; weicht aber eine der beiden Bewegungen von der Gleichförmigkeit ab, so entfernt der Zeiger sich offenbar von der Richtung nach dem Auge. Sieht man dieses, so ist die Ungleichförmigkeit einer der beiden Bewegungen keinem Zweifel mehr unterworfen, allein welche von beiden diese Ungleichförmigkeit besitzt, oder ob beide sie besitzen, bleibt so lange zweifelhaft, als nicht andere Entscheidungsgründe für die eine, und gegen die andere geltend werden. Das was der Anblick des Mondes zu verschiedenen Zeiten uns zeigt, überzeugt uns also, dass entweder seine Umlaufsbewegung um die Erde, oder seine Umdrehungsbewegung um seine eigene Axe, nicht völlig gleichförmig vor sich gehen. Von der ersteren wissen wir, indem wir den Lauf des Mondes am Himmel kennen, dass sie wirklich eine Ungleichförmigkeit besitzt; indem wir Schwankungen des Mondes, beziehungsweise auf die Gesichtslinie, beobachten, können wir also nicht zweifeln, dass sie, wenigstens zum Theil, ihre Erklärung in jener Ungleichförmigkeit finden werden.

Ehe ich mich auf die Untersuchung einlasse, ob die Ungleichförmigkeit der Umlaufsbewegung des Mondes alleinige Ursache seiner Schwankungen ist, oder ob auch seine Umdrehung eine Ungleichförmigkeit besitzt und dadurch Theil an der Erscheinung erhält, werde ich eines Resultates erwähnen, welches die Vergleichung der ältesten Beschreibungen des Gesichtes des Mondes, mit dem was wir jetzt darin wahrnehmen, ergiebt. Jene, 2000 Jahre alten Beschreibungen sind zwar ohne Fernröhre entworfen, also gewiss nicht sehr genau; aber die Flecken, welche der Mond auch dem unbewaffneten Auge zeigt, sind so auffallend und kenntlich, dass auch so mangelhafte Beschreibungen, als man, insofern sie Gegenstände der Natur betreffen, aus dem Alterthume erwarten kann, keinen Zweifel darüber lassen, dass der Mond der Erde, in jener frühen Zeit, dieselbe Seite zugewandt hat, welche er ihr noch zuwendet. Hätte damals ein Punkt in der Mitte der Scheibe gestanden, welcher nur ein Zehntel des Umfanges des Mondes von einem Punkte entfernt wäre, den wir jetzt daselbst sehen, so könnten die alten Beschreibungen den neuen durchaus nicht mehr entsprechen. Da aber der Mond, seit jener Zeit, 25000 Umläufe um die Erde gemacht hat, und die eben angeführte Vergleichung uns versichert, dass er, wenigstens bis auf ein Zehntel einer Umdrehung genau, dieselbe Zahl von Umdrehungen um seine Axe gemacht hat, so können wir mit Sicherheit folgern, dass seine Umdrehungszeit nicht ein 250000tel kürzer oder länger

ist, als seine Umlaufszeit; also, dass beide höchstens nur um einige Secunden verschieden sein können. — Allein man kann noch unendlich viel weiter gehen und behaupten, dass beide, in aller geometrischen Schärfe, einander gleich sind, so dass Tausende von Jahrhunderten eben so wenig eine Veränderung des Ansehens des Mondes hervorbringen werden, als 20 Jahrhunderte eine hervorgebracht haben. Diese Behauptung geht offenbar über die Kraft der vorhandenen Wahrnehmungen hinaus; sie stützt sich aber auf etwas, was eben so sicher ist als unmittelbare Wahrnehmungen, nämlich auf strenges mathematisches Raisonnement, welches von vollkommen begründeten Thatsachen ausgeht. Ich werde den Weg andeuten, auf welchem Laplace auch zu dieser Erkenntniss über das Weltsystem gelangt ist. Der Mond ist keine vollkommene Kugel, sondern er besitzt, an der der Erde zugewandten Seite, mehr Masse, als an der von ihr abgewandten; jene Seite wird also stärker von der Erde angezogen als diese, und erlangt dadurch das Bestreben, sich der Erde zu zu drehen, wenn ihre Richtung verändert worden ist. Wenn daher ein kleiner Unterschied der Umlaufs- und Umdrehungszeiten vorhanden ist, so dass, nach einem vollendeten Umlaufe, die Richtung der schwereren Seite des Mondes, welche am Anfange desselben mit der Richtung nach der Erde zusammenfiel, sich ein wenig von dieser entfernt, so sucht die Kraft der Erde sie wieder in diese Richtung zu bringen, ertheilt ihr also, da sich ihrer Wirkung nichts entgegensetzt,

eine ihre Abweichung vermindernde Bewegung. Dass diese Ursache eine Wirkung dieser Art hervorbringen muss, ist leicht verständlich; was das Endresultat dieser sich immer erneuernden Wirkungen sein wird, kann aber nur durch ihre genaue mathematische Verfolgung erkannt werden. Diese hat gezeigt, dass beide Bewegungen, wenn sie sehr nahe gleich sind, vollkommen gleich werden müssen. Man weiss also, da das erstere, nämlich die nahe Gleichheit, dem Zeugnisse der angeführten Wahrnehmungen zufolge, wirklich stattfindet, dass die vollkommene Gleichheit der Umlaufszeit und Umdrehungszeit des Mondes auch vorhanden sein muss; auch, dass sie sich bis zu den spätesten Zeiten erhalten wird, selbst wenn die Bewegung des Mondes, im Laufe der Jahrtausende, merkliche Aenderungen erfahren wird. — Welches aber die Ursache gewesen ist, deren Folge die ursprüngliche, nahe Gleichheit beider Bewegungen war, wissen wir eben so wenig, als wir von der Entstehung des Weltgebäudes sonst etwas wissen. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass der blosse Zufall zwei Bewegungen, welche in jeder beliebigen Verschiedenheit nebeneinander bestehen könnten, innerhalb so enger Grenzen einander gleich gemacht haben sollte, dass sie durch die Wirkung der Anziehung völlig gleich werden mussten; es wird noch unwahrscheinlicher, da auch andere Monde unseres Planetensystems dieselbe Gleichheit beider Bewegungen zu besitzen scheinen und der äusserste Saturnsmond sie gewiss besitzt. Bei den

Planeten selbst findet nichts ähnliches statt; die Erde drehet sich z. B. 366¼ Mal um ihre Axe, während sie einmal um die Sonne läuft. Die Erscheinung der Gleichheit beider Bewegungen bei den Monden der Planeten, ist eine der Merkwürdigkeiten des Weltsystems, indem sie nicht die Folge eines allgemeinen Gesetzes ist, aber, durch ihr wirkliches Vorkommen, auf das Stattfinden primitiver, besonderer Bedingungen deutet, deren Vorhandensein eins der Daten ist, gegen welche jede genetische Erklärung des Weltsystems nicht verstossen darf.

Ich habe vorher schon bemerkt, dass die bekannten Ungleichheiten der Umlaufsbewegung des Mondes um die Erde, scheinbare Schwankungen seines Körpers erzeugen, oder dass sie verursachen müssen, dass ein Punkt auf seiner Oberfläche, welcher einmal in der Mitte der Scheibe gesehen wird, nicht immer diese Stelle bewahrt. Die Frage, ob jene Ungleichheiten allein, zur vollständigen Erklärung der Schwankungen hinreichen, kann offenbar nur beantwortet werden, nachdem die Schwankungen selbst, durch sorgfältige Beobachtungen ihrer Art und Grösse, vollständig bekannt geworden sind. Dergleichen Beobachtungen, welche die Lage eines kenntlichen Punktes auf dem Monde, vergleichungsweise mit dem Mittelpunkte seiner Scheibe, zum Gegenstande hatten, hat schon Dominicus Cassini vor 150 Jahren gemacht, genauere Tobias Mayer, und noch genauere, so wie länger fortgesetzte neuerlich Bouvard. Diese Beobtungen haben ergeben, dass sich die scheinbaren

Schwankungen des Mondes, mit einer gleichförmigen Drehung desselben um eine Axe, welche nahe senkrecht auf der Ebene der Erdbahn steht, vollkommen vereinigen lassen, also alleinige Folgen der Ungleichförmigkeit der Umlaufsbewegung sind. Der Aequator des Mondes durchschneidet die eben genannte Ebene in einem Winkel von nur 1° 29′ an zwei Punkten, welche immer mit den Punkten zusammenfallen, an welchen die Mondbahn dieselbe Ebene durchschneidet; er befindet sich immer zwischen der Erdbahn und der Mondbahn, ist also gegen die letztere weniger geneigt, als diese gegen die Erdbahn.

Es ist also aus diesen Beobachtungen hervorgegangen, dass die Drehung des Mondes um seine Axe, deren Dauer der Dauer seiner Umlaufsbewegung um die Erde gleich ist, gleichförmig vor sich geht, eben so wie es bei der Drehung der Erde um ihre Axe der Fall ist. Der Mond hat seinen bestimmten Aequator, seine Pole und seine Meridiane, wie die Erde, und die Begriffe der geographischen Länge und Breite finden auf ihn, so wie auf diese, ihre Anwendung. Es ist sogar etwas vorhanden, was die Annahme eines ersten Meridians, von welchem die Längen angezählt werden, von der Willkür befreiet, welche auf der Erde bekanntlich darin stattfindet; man kann denjenigen Meridian dafür annehmen, dessen Schwankungen ihn auf beiden Seiten gleich weit von der Erde entfernen.

Ich habe diese Erklärungen über die Drehung des Mondes nicht übergehen dürfen, theils weil sie uns die wahre Natur seiner scheinbaren Schwankungen erklären, theils weil nur durch sie begreiflich wird, wie eine Karte von dem Monde entworfen werden kann. Denn dass man Verzicht darauf leisten muss, ein dem Monde zu jeder Zeit, vollkommen treues Bild zu zeichnen, wird aus den Schwankungen klar, welche sein Ansehen von Tage zu Tage verändern. Die Karte muss, wie unsere Erdkarten, ein Netz von Parallelkreisen und Meridianen besitzen, und die Punkte des Mondes, welche darauf verzeichnet werden sollen, müssen jeder nach seiner Länge und Breite eingetragen werden. Ihrer Zeichnung muss also die Bestimmung dieser Länge und Breite vorangehen; um diese zu erlangen, muss man die Lage jedes Punktes, vergleichungsweise mit dem Mittelpunkte der Mondscheibe, durch astronomische Beobachtungen bestimmen, und nach dem bekannten Gesetze der Schwankungen berechnen, welcher Grad der Länge und Breite derselben Lage entspricht. — Dieses ist derselbe Weg, welcher eingeschlagen werden muss, wenn die Karte eines grossen Landes entworfen werden soll: in beiden Fällen geht die Entwerfung derselben von Punkten aus, deren Länge und Breite astronomisch bestimmt worden sind; in beiden werden die Einzelnheiten durch Vermessungen, welche sich an jene Punkte anschliessen, hinzugefügt. Der Werth der Karte aber, hängt sowohl von der Genauigkeit der astronomisch bestimmten Längen und Breiten, als von der Ge-

nauigkeit und Ausführlichkeit, womit die Einzelnheiten behandelt worden sind, ab.

Da man eine kugelförmige oder kugelähnliche Oberfläche nicht vollkommen, sondern nur näherungsweise richtig auf einer Ebene abbilden kann, so sollten eigentlich die Abbildungen, sowohl der Länder der Erde, als auch des Mondes, auf Kugelflächen, nicht auf dem ebenen Papiere, gemacht werden. Da man dennoch das letztere, der grösseren Leichtigkeit des Gebrauches wegen, vorzieht, so kann man die vollkommene Uebereinstimmung der Zeichnung mit der krummen Oberfläche, welche sie vorstellen soll, nicht mehr erlangen. Man kann nur erlangen, dass die Zeichnung in gewisser Beziehung richtig sei, z. B. perspectivisch richtig; oder in allen kleinen Theilen dem Originale ähnlich; oder irgend einer anderen Bedingung, welche durch die beabsichtigte Anwendung der Karte gegeben wird, entsprechend. Die Verschiedenheit der Anwendungen der Karten der Erde und des Mondes, ist aber die Ursache einer beträchtlichen Verschiedenheit der Einrichtungen beider: jene sollen die Oberfläche jedes einzelnen Theils der Erde, der Wahrheit möglichst getreu, wiedergeben; während diese den Anblick des Mondes, wie er von der Erde aus ist, in soweit seine Schwankungen es erlauben, darstellen sollen. Daher zeichnet man jeden Punkt seiner Oberfläche, auf den Punkt des Papiers, welcher seiner Projection auf eine Ebene entspricht, die auf der Ebene des ersten Meridianes des Mondes senkrecht steht. Bei dieser Einrichtung

erscheinen die Gegenstände auf dem Monde, je näher sie seinem Rande stehen, desto mehr zusammengedrängt; in demselben Masse also ihrer wahren Beschaffenheit ungetreuer, in welchem sie sich dem Anblicke nähern, welchen sie von der Erde aus gewähren. Vor etwa 30 Jahren machte Russel in London den Versuch, die Mondsoberfläche auf einer Kugel darzustellen, welche also ihre wahre Beschaffenheit repräsentiren sollte; ich glaube aber, dass man mit Recht zu der Darstellung auf einem ebenen Blatte zurückgekehrt ist, indem man wirklich kein Mittel besitzt, die sich stark zusammendrängenden und einander verdeckenden Gegenstände an dem Rande, von einander getrennt, mit derselben Bestimmtheit zu erkennen, mit welcher man sie kennen müsste, wenn man sie eben so gut als der Mitte der Mondscheibe nähere, auf einer Kugel darstellen wollte. Auch die neue, grosse, aus vier Blättern zusammengesetzte und den Mond in einem Kreise von 3 Pariser Fuss Durchmesser, zum erstenmale vollständig darstellende Karte von Beer und Mädler, ist eine Projection von der angegebenen Art und daher dem wirklichen Anblicke des Mondes mehr entsprechend, als die Darstellung auf einer Kugel es sein kann. Aehnliche Karten haben, obgleich nach einem weit kleineren Masstabe, früher Tobias Mayer und Lambert bekannt gemacht; aber ihrer geringen Grösse wegen, nur die grösseren Gegenstände auf dem Monde, und diese ohne Andeutung der Einzelnheiten, welche sie darbieten, darauf verzeichnet. Den Versuch das auszuführen,

was Beer und Mädler jetzt wirklich ausgeführt haben, machte Lohrmann in Dresden im Jahre 1824; er beabsichtigte, die ganze sichtbare Oberfläche des Mondes auf 25 Blättern darzustellen und gab vier davon wirklich heraus. Es ist nicht zu bezweifeln, dass dieser schöne und durchaus genügende Anfang einer grossen Arbeit über den Mond, anregend auf Beer und Mädler gewirkt hat; aber da Lohrmann dem Anfange, innerhalb 10 Jahren, keine Fortsetzung folgen liess, und da das unbestimmte Warten, mit einem Eifer, wie ihn Beer und Mädler in der Vollendung ihres Werkes an den Tag gelegt haben, sicher nicht verträglich ist, so begreift man leicht, dass der von Lohrmann auf sie gemachte Eindruck keine andere Folge haben konnte, als sie zum eigenen Aufnehmen der verlassenen Arbeit zu bringen.

Wir kennen jetzt den Mond mit einer Vollständigkeit, welche noch Schroetern, der sich so viel darum bemühet hat, ein frommer Wunsch bleiben zu müssen schien. Begreiflich ist diese Vollständigkeit weit kleiner, als man sie auf der Erde erlangen kann; hier haben wir die Gegenstände in der Nähe, und in dem Bereiche aller unserer Sinne, während sie dort, in einer Entfernung von 50000 Meilen, nur dem durch das Fernrohr geschärften Sehen erreichbar sind. Eine Darstellung des Mondes kann bei weitem nicht so in das Einzelne gehen, als eine Darstellung der Erde. Um das, was für den Mond geleistet werden kann, übersehen zu können, muss man wissen, dass es sehr

selten vortheilhaft ist, ihn mit mehr als 300maliger Vergrösserung des Fernrohrs zu betrachten; den Schilderungen zufolge, welche Alexander v. Humboldt von der Klarheit des Himmels und der Ruhe der Luft in Cumana, und Herschel von der Pracht desselben am Vorgebirge der guten Hoffnung entwerfen, kann man glauben, dass es, in diesen, für die Astronomie paradiesischen Gegenden, vortheilhaft sein kann, noch stärkere Vergrösserungen der Fernröhre anzuwenden; für unser Clima, welches ohne Vergleich viel unruhigere Luft hat, und, wenigstens in Königsberg in jedem Jahre vielleicht nicht sechs Nächte liefert, in welchen eine Vergrösserung von 300 Mal nicht schon zu stark sein sollte, wäre es ein eitles Unternehmen, den Mond mit einer stärkeren erforschen zu wollen. Diese Vergrösserung ist also die äusserste, welche wirklich angewandt werden kann; aber es fehlt viel daran, dass man sie durchaus anwenden könnte. Sie giebt die Grenze der Grösse einer Darstellung des Mondes, und diese scheinen sowohl Lohrmann als auch Beer und Mädler beobachtet zu haben, indem sie ihren Karten eine Grösse gaben, welche die darauf gezeichneten Gegenstände, wenn man sie 13 Zoll vom Auge entfernt, so gross erscheinen lässt, als man sie, im Monde selbst, unter dreihundertmaliger Vergrösserung sieht. Dieser Masstab der Karte bringt 16 Deutsche Meilen auf jeden Zoll. Specieller, als man ein Land der Erde, nach einem Masstabe eines Zolles für 16 Meilen dargestellt, in einer Entfernung von 13 Zollen erkennen kann, können also

die Mondkarten nicht sein. Eine Karte, welche ganz Frankreich auf einem Quartblatte darstellt, ist so speciell, als die Mondkarten sein können. Man sieht aus dieser Angabe unmittelbar, wie die kleineren Einzelnheiten, welche unsere Specialkarten von den Ländern der Erde angeben, von einer Mondkarte nicht nur gänzlich verschwinden müssen, sondern wie sie uns auch gänzlich verborgen bleiben. — Dieses darf man keinen Augenblick vergessen, wenn man nicht Gefahr laufen will, mit unserer Kenntniss des Mondes unrichtige Vorstellungen zu verbinden.

Indessen ist die Unsichtbarkeit der kleineren Einzelnheiten der Mondsoberfläche, der Erlangung ihrer Kenntniss nicht in jeder Beziehung nachtheilig. Ein gleichzeitiger Ueberblick über einen beträchtlichen Theil der Oberfläche des Mondes, ist wirklich geeigneter, als ein nur auf Einzelnheiten beschränkter Blick, alles das erkennen zu lassen, was durch seine Gesammtheit merkwürdig wird. Hieher gehört der allgemeine Zug der Gebirge, die Uebersicht über das Characteristische ihrer Formen, über ihr Verhältniss zum ebenen Lande, über die Verschiedenheit der Farbe der einzelnen Theile der Oberfläche. Ich zweifle nicht, dass es mir gelingen wird, die Richtigkeit dieser Bemerkung geltend zu machen; ich glaube auch, dass wir zur allgemeinen Kenntniss unserer Erde wesentlich würden beitragen können, wenn es uns vergönnt wäre, die Kenntniss ihrer Einzelnheiten, durch ihren Ueberblick aus grosser Entfernung zu ergänzen. Ich vermuthe

selbst, dass Wahrnehmungen am Monde, Vorstellungen erzeugen werden, welche durch ihre Verfolgung auf der Erde, zur Erkenntniss ihrer Structur im Ganzen beitragen können.

Zwischen dem Monde und der Erde ist eine grosse und einflussreiche Verschiedenheit, welche ich, ehe ich auf die nähere Beschreibung des Mondes eingehe, ins Licht stellen muss. Die Erde hat eine Atmosphäre, der Mond hat keine. Mit der Atmosphäre fehlen seiner Oberfläche alle die grossen Veränderungen, welche die Oberfläche der Erde, vom Anfange an, durch die fortwährenden Einflüsse derselben erfahren hat. Seine Gebirge sind nicht, wie die Gebirge der Erde, durch Luft und Wasser, zerstört; er zeigt uns einen unveränderten Zustand, während der der Erde bis zum Unkenntlichwerden verändert worden ist. Ich wünsche Ihnen die Gründe klar zu machen, aus welchen folgt, dass der Mond keine Atmosphäre besitzt; ich bitte um Ihre Aufmerksamkeit auf die Entwickelung derselben.

Wenn der Mond eine Atmosphäre besitzt, so müssen durch sie hindurchgehende Lichtstrahlen von ihrem geraden Wege abgelenkt, oder gebrochen werden. Eine solche Brechung erfolgt jedesmal, wenn ein Lichtstrahl durch ein durchsichtiges Medium so hindurchgeht, dass er die Oberfläche desselben nicht senkrecht durchschneidet. Unsere Atmosphäre bringt eine sehr grosse Strahlenbrechung hervor; die Strahlen, von Gegenständen ausgehend, welche sich ausser der Atmosphäre befinden, werden, indem sie

in die Atmosphäre eintreten, von ihrer Richtung abgelenkt, und sie erfahren immer neue Ablenkungen, indem sie von einer weniger dichten Schichte der Atmosphäre in eine dichtere eintreten. Hiervon ist die nothwendige Folge, dass die Strahlen von allen, ausser der Atmosphäre befindlichen Gegenständen, also von allen Himmelskörpern, nicht in geraden Linien, sondern gekrümmt, zum Auge gelangen, und wir diese Himmelskörper immer höher, oder dem Scheitelpunkte näher sehen, als sie wirklich sind. Der Unterschied zwischen der wahren und scheinbaren Richtung eines Gestirns, verschwindet nur, wenn dasselbe genau im Scheitelpunkte steht, der von ihm kommende Lichtstrahl also die Schichten der Atmosphäre senkrecht durchschneidet; in jeder anderen Stellung des Gestirns findet er statt, und er wird desto grösser, je weiter entfernt es vom Scheitelpunkte ist; befindet das Gestirn sich im Horizonte, oder im Auf- oder Untergehen, so beträgt der Unterschied mehr als einen halben Grad, so, dass z. B. die Scheibe der untergehenden Sonne, wenn ihr unterer Rand den Horizont zu berühren scheint, sich wirklich schon ganz unter demselben befindet. Diese Strahlenbrechung ist eine nothwendige Folge der Atmosphäre und ihr Fehlen würde mit dem Vorhandensein derselben unvereinbar sein. Wenn man also zu der Entscheidung gelangen kann, dass der Mond keine Strahlenbrechung besitzt, so ist nicht weiter zu bezweifeln, dass er auch eine Atmosphäre entbehrt. Zu der ersteren Entscheidung ist man aber durch eine

Erscheinung gelangt, welche sich sehr oft ereignet, und deren häufige Beobachtung keinen Zweifel darüber gelassen hat, dass der Mond keine, oder wenigstens keine bemerkbare Strahlenbrechung besitzt. Der Mond wird nämlich, durch seine Bewegung am Himmel, häufig über Fixsterne hinweggeführt, so dass sie hinter seinem Körper verschwinden, und, bei der fortgehenden Bewegung, am entgegengesetzten Rande seiner Scheibe wieder hervortreten. Um die Folgerung, welche man aus der Beobachtung der Zeit des Verschwindens und der Zeit des Wiedererscheinens eines Sterns am Rande des Mondes ziehen kann, deutlicher hervortreten zu lassen, werde ich den einfachsten Fall, in welchem der Mond vor dem Sterne central vorübergeht verfolgen. In diesem Falle bewegt sich ein Durchmesser des Mondes vor dem Sterne vorüber, und aus der bekannten Bewegung des Mondes kann berechnet werden, wie gross der Weg ist, welchen er zwischen den Zeiten der Bedeckung und Wiedererscheinung des Sterns, am Himmel beschrieben hat. Wenn das Licht des Sterns, sowohl bei seinem Eintreten als bei seinem Wiedererscheinen keine Ablenkung von seiner geraden Richtung auf das Auge zu, erfährt, so ist dieser Weg offenbar genau so gross, wie der Durchmesser des Mondes; wenn dagegen der Lichtstrahl des Sterns, am Rande des Mondes, durch eine Strahlenbrechung gekrümmt wird, er also später ein- und früher wieder austritt, als ohne diese Krümmung der Fall sein würde, so ist der aus den Zeiten beider Erscheinungen berechnete

Weg, offenbar kleiner als der Durchmesser. Aus der Vergleichung des wirklich von dem Monde beschriebenen Weges, mit dem gleichzeitig, unmittelbar gemessenen Durchmesser des Mondes, geht also hervor, ob das Licht des Sterns geradlinigt oder gekrümmt am Mondrande vorbeigegangen ist. Hierdurch kann also entschieden werden, ob der Mond eine Strahlenbrechung besitzt oder nicht, und wenn er eine besitzt, wird ihre Grösse dadurch gleichfalls bestimmt. Man ist auf diesem Wege wirklich zu der Ueberzeugung gelangt, dass keine Strahlenbrechung am Monde merklich ist; der Versuch hat mit so grosser Sicherheit gemacht werden können, dass man mit Bestimmtheit behaupten kann, dass eine Strahlenbrechung, wenn sie vorhanden ist, nicht einmal eine einzige Secunde beträgt. Nimmt man diese äusserste, mit den Beobachtungen noch vereinbare Grenze, als wirklich vorhanden an, und setzt man voraus, dass die Atmosphäre des Mondes, welche diese kleine Strahlenbrechung erzeugt, dieselben Bestandtheile hat, welche unsere Atmosphäre besitzt, so folgt ferner, dass ihre Dichtigkeit noch nicht einmal den tausendsten Theil der Dichtigkeit, welche unsere Atmosphäre, an der Oberfläche der Erde besitzt, betragen kann. — Indessen ist gegen dieses, einer Atmosphäre des Mondes so ungünstige Resultat, eingewandt worden, dass der Rand des Mondes, an welchem die Sterne verschwinden und wiedererscheinen, mit hohen Gebirgen besetzt sein könne, an deren Spitzen die Atmosphäre nothwendig weniger dicht sein müsse, als in den Thälern,

und dass also in diesen wirklich eine dichtere vorhanden sein könne. Ich halte diese Einwendung für ungegründet, da man die hohen Gebirge, von deren Dasein am Rand sie ausgeht, daselbst nicht häufiger sieht, als an anderen Theilen der Mondsoberfläche; allein wenn man sie auch als gegründet gelten lassen will, so wird doch dadurch nur eine ganz unbedeutend dichtere Atmosphäre in den Thälern gewonnen. Man kann nämlich von ihrer Dichtigkeit in einer gewissen Höhe über der Oberfläche, auf die Dichtigkeit schliessen, welche sie an der Oberfläche selbst besitzt. Hätte man die Dichtigkeit unserer Luft z. B. auf dem Gipfel des Montblanc bestimmt, so würde die Dichtigkeit derselben an der Oberfläche des Meeres daraus abgeleitet werden können. Dieses beruhet auf der Eigenschaft der luftartigen Flüssigkeiten, ihre Dichtigkeit in demselben Verhältnisse zu verändern, in welchem das sie zusammendrückende Gewicht sich verändert. An dem Gipfel des Montblanc ist dieses Gewicht, das Gewicht der über ihm liegenden Schichten der Atmosphäre; an seinem Fusse ist es die Summe dieses Gewichtes und des Gewichtes der Schichten, welche zwischen dem Fusse und dem Gipfel liegen; die Dichtigkeit der Luft am Fusse muss also grösser sein als am Gipfel, und die eine muss, durch alle Abstufungen hindurch, so wie die Höhe sich verändert, in die andere übergehen. Auf der Verfolgung dieses Ueberganges beruhet der erwähnte Schluss. Wenn man ihn auf den Mond anwendet, den hypothetischen Bergen am Rande eine Höhe

beilegt, welche sicher kein einziger von ihnen besitzt, und über alles, was in der Anwendung mehr oder weniger der Willkür überlassen bleibt, so verfügt, dass eine möglichst grosse Dichtigkeit der Atmosphäre des Mondes daraus hervorgeht, so gewinnt man dennoch immer noch nicht so viel, dass man sie auf den 500ten Theil der Dichtigkeit unserer Atmosphäre bringen könnte. — Indem ich die höchste Grenze der Dichtigkeit einer Mondsatmosphäre angebe, welche mit unzweifelhaften Thatsachen, möglicherweise vereinigt werden könnte, bin ich weit entfernt, zu glauben, dass diese Grenze wirklich erreicht wird. Ich halte vielmehr dafür, dass nichts vorhanden ist, welches auch nur die geringste Spur einer Mondsatmosphäre andeutet, und dass alles, was man dafür angeführt hat, auf Missverständnissen und Ungenauigkeiten beruht. Aber wenn man dennoch bei der Annahme einer Atmosphäre beharren will, so muss man wenigstens zugeben, dass sie so gering ist, dass sie das Barometer, welches bei uns bekanntlich 28 Zoll hoch steht, nicht in grösserer Höhe als etwa ein Zwanzigstel Zoll halten könnte. Es ist sehr schwer, eine Luftpumpe zu verfertigen, welche den Raum unter ihrer Glocke, bis auf diese Grenze herab, auszuleeren im Stande ist. — Von tropfbarem Wasser kann, bei der Abwesenheit einer Atmosphäre des Mondes, gar nicht die Rede sein; Feuer kann ohne Luft nicht brennen. — So wie ich früher die Erkenntniss der Einzelnheiten auf dem Monde, durch Beobachtungen von der Erde aus, in

ihre rechten Schranken verwiesen habe, eben so habe ich jetzt alles wegnehmen müssen, was zu der Ergänzung derselben nach irdischen Vorstellungen, veranlassen könnte. Es ist also durchaus nicht mehr erlaubt, an die Erde zu denken, wenn man den Mond vor Augen hat.

Was auf dem Monde zuerst auffällt, sind zahlreiche Berge und Thäler, welche seine Oberfläche höchst rauh und ungleich erscheinen lassen. Dass das, was ich Berge genannt habe, wirklich Berge sind, ist keinem Zweifel unterworfen; man sieht sehr deutlich und auffallend den Schatten, welchen sie, indem die Sonne sie bescheint, in die Thäler werfen. Man wird, durch die Messung der Länge dieses Schattens, sogar in den Stand gesetzt, die Höhen der Berge zu bestimmen. Schroeter hat sehr viele derselben, durch dieses Mittel gemessen, und Beer und Mädler haben etwa 1000 hinzugefügt. Was man, indem man von der Schattenlänge ausgeht, herausbringt, ist nicht genau dasselbe, was wir unter Höhe unserer Erdberge verstehen; diese ist immer von der Meeresfläche angerechnet; von einer bestimmten Fläche also, welche auf dem Monde nicht vorhanden ist. Die gemessenen Höhen der Berge des Mondes können sich also nicht auf einen bestimmten Anfangspunkt beziehen, sondern sie sind nichts anderes als Höhenunterschiede, von der Höhe des Punktes an gerechnet, auf welchen das Ende des Schattens fällt. Läge ein Berg z. B. auf einem ausgedehnten, an sich selbst eine halbe Meile hohen Plateau, und fände man ihn, durch seinen, auf

dieses Plateau fallenden Schatten, eine Meile hoch, so würde seine wahre Höhe anderthalb Meilen betragen; allein da man die Höhe des Plateaus nicht bestimmen kann, indem der Anfangspunkt dafür fehlt, so ist man gezwungen, ihn nur eine Meile hoch anzugeben. — Der grösste Höhenunterschied, welchen Beer und Mädler gefunden haben, beträgt 3727 Toisen, erreicht also noch nicht völlig die Höhe des höchsten Piks des Himmalaya-Gebirges, welche man bekanntlich auf 4000 und einige Toisen schätzt. Ob er diese Höhe erreichen würde, wenn man sie von der mittleren Oberfläche des Mondes, welche unsere Meeresfläche vertreten mögte, messen könnte, kann man nicht wissen. Jedenfalls geht aus dem häufigen Vorkommen von Höhenunterschieden, welche 3000 Toisen überschreiten, hervor, dass die Unebenheiten der Mondsoberfläche, vergleichungsweise mit seiner eigenen Grösse, weit auffallender sind, als die Unebenheiten der Erde; denn der Durchmesser der Mondskugel ist nicht viel grösser als ein Viertel des Durchmessers der Erdkugel und dennoch erreichen die Berge des Mondes etwa dieselbe Höhe, welche unsere Berge erreichen. Ich will hierdurch nur bemerklich machen, dass unsere Erde, aus einer Entfernung gesehen, welche sie so gross darstellt, als uns der Mond erscheint, weit weniger gebirgig und rauh als dieser erscheinen würde.

Eine Eigenthümlichkeit der Bergbildungen des Mondes ist eine mehr oder weniger regelmässige, kreisartige Form, welche freilich nicht alles Mond-

gebirge besitzt, deren Vorherrschen aber so allgemein ist, dass man sie allenthalben auf dem Monde zu sehen erwarten darf. Ein diese Form besitzender Raum, zeigt sich von einem, oft sehr steil aufsteigenden Bergwalle umschlossen; seine Grösse geht durch alle Grössen, von der kleinsten, welche unsere Fernröhre zeigen können, bis zu 30 Meilen und darüber. Häufig zeigen sich in dem Inneren dieses Raumes, kleinere ähnliche Bildungen; häufig bemerkt man sie auf den Bergwällen oder auf anderen Bergrücken, so wie auch in der Ebene. Diese Form, die an die Crater unserer Vulcane erinnert, sich aber oft von ungleich bedeutenderer Grösse zeigt, ist es, welche man durch die allgemeine Benennung Craterform bezeichnet. — Wenn man die zahllosen Gebilde dieser Art, welche der Mond darbietet, genauer betrachtet, so bemerkt man darin grosse Verschiedenheiten, welche näher zu bezeichnen ich mich bemühen werde. Es ist gewiss, dass kleinere Crater, welche auf dem Bergwalle grösserer aufsitzen, erst entstanden sind, als diese schon vorhanden waren; auch zeigen sich zwischen den kleineren und grösseren sehr characteristische Unterschiede anderer Art, welche es rechtfertigen, wenn man verschiedene Benennungen beider einführt, und die grösseren, als Ringgebirge, von den kleineren, denen man den Namen Crater lässt, unterscheidet. Zuerst werde ich von diesen Cratern reden. Sie sind immer sehr regelmässig rund, von einem, an seiner Aussenseite steil aufsteigenden Walle umgeben, im Inneren aber

kugelförmig vertieft; sie sind den Spuren vergleichbar, welche Luftblasen hinterlassen, die in einer durch Wärme flüssig gemachten zähen Substanz, z. B. Pech, vor dem Erkalten aufsteigen, bei ihrem Zerplatzen aber, wegen unzureichender Flüssigkeit der Substanz, die Erhöhung ihres Randes und die Vertiefung ihres Inneren übrig lassen. Dergleichen Crater sieht man immer in grosser Menge; allein wenn die Luft sehr ruhig und das Fernrohr sehr gut ist, man also auch die kleineren unterscheidet, so erscheinen sie oft unzählbar, so dass Kunowski, der sie unter diesen günstigen Umständen gesehen beschreibt, die Verzeichnung aller dieser Crater für eben so schwierig hält, als die Verzeichnung der Sterne der Milchstrasse. Beer und Mädler haben Gegenden des Mondes gefunden, welche gewöhnlich eben erscheinen und eine schwache Erleuchtung besitzen, unter ausgezeichnet günstigen Umständen sich aber von unzählbaren kleinen Cratern bedeckt zeigen, deren Ränder Schatten und dadurch die schwache Erleuchtung des Grundes, den sie einnehmen, verursachen. Will man, bei diesen Cratern, an die Crater unserer Vulcane denken, so kann man bemerken, dass die grössten dieser letzteren zu den kleinsten auf dem Monde gehören würden. Beer und Mädler erinnern hierüber noch, dass alle Crater des Mondes ihren Boden zeigen, während sie die Crater unserer Vulcane als wahre Schlünde betrachten.

Die grösseren Ringgebirge sind dagegen durchaus nicht so regelmässig geformt und umwallet, als die

kleineren Crater. Was den, 10, 20, 30 Meilen im Durchmesser habenden inneren Raum derselben umschliesst, ist kein fest geschlossener Wall, sondern ein System von Gebirgen, welches ihn in mehreren, oft miteinander verbundenen Ketten, umgiebt. Sehr häufig ziehet sich eine dieser Ketten in das Innere des Raumes hinein; oft erhebt sich in der Mitte desselben ein abgesonderter Spitzberg, der zwar sehr hoch und steil sein kann, jedoch, nach Beer und Mädlers Aeusserung, die Höhe des Ringgebirges nicht erreicht. Der tiefste Punkt des Inneren eines Craters oder Ringgebirges, ist fast ohne Ausnahme tiefer als die Fläche welche das Ganze umgiebt. — Wenn man die Crater und Ringgebirge des Mondes betrachtet, so kann man sich kaum der Vorstellung erwehren, dass sie die Ueberreste von Aufblähungen sind, welche die Oberfläche des Mondes, im mehr oder weniger flüssigen Zustande erfahren hat; die, der oben schon gemachten Bemerkung zufolge, früher entstandenen Ringgebirge, erscheinen wie Ueberreste gigantischer Blasen, deren Ränder, bei noch vorhandener grösserer Flüssigkeit der Masse, zum Theil wieder verflossen und dadurch die unregelmässige Form zusammengesetzter Gebirge annahmen; die späteren, kleineren Crater erscheinen wie das Product kleinerer Blasen, welche eine schon fester gewordene Masse durchdrangen und durch Zusammenfliessen wenig oder gar nicht mehr geändert wurden.

Obgleich die Craterform die vorherrschende des Gebirges auf dem Monde ist, so giebt es doch auch viele unserem Gebirge, zum Beispiele den Schweizer und Tyroler Alpen nicht unähnliche Gegenden auf dem Monde; weitausgedehnte Gegenden, in welchen sich eine Bergzacke auf die andere thürmt, in welchen keine Spur einer regelmässigen Bildung zu bemerken ist. Andere Gebirge erstrecken sich in zusammenhängenden Ketten, wie unsere Anden und ihre Verzweigungen. — Was man aber durchaus nicht auf dem Monde findet, sind die grossen Längenthäler unserer Gebirge, welche durch Spülung entstanden sind und welche ursprünglich die Massen enthielten, deren Trümmer wir jetzt, als grössere Bruchstücke und als stärker verkleinerte, als Sand, über grosse Flächen der Erde ausgebreitet, bemerken. Beer und Mädler bemerken treffend, dass diese Längenthäler, nach Vorstellungen, welche von der Beschaffenheit des Mondes ausgehen, keine Deutung erhalten können; sie erinnern, dass unsere Flüsse und Meere, nach diesen Vorstellungen eben so vollkommen räthselhaft erscheinen müssen. Sie sind also nicht geneigt, den Mond nach der Analogie der Erde zu beurtheilen. Sie weichen hierin von ihren Vorgängern ab, welche das Aufsuchen von Aehnlichkeiten zwischen beiden, oft bis zur Lächerlichkeit getrieben haben; aber sie haben die rechte Partie ergriffen und konnten keine andere ergreifen, indem sie von dem gründlichen Studium des Mondes und nicht von willkürlichen Vorurtheilen ausgingen.

Nächst dem Gebirge des Mondes, fällt die Verschiedenheit der Lichtstärke seiner Theile vorzüglich auf. Schon ohne Fernrohr nimmt man grosse dunkle Stellen auf glänzenderem Grunde wahr. Auf den älteren Karten sind diese dunklen Stellen *Meere* genannt, ohne dass man jedoch den Astronomen, welche ihnen diese Benennung gegeben haben, vorwerfen könnte, dass sie sie für wirkliche Meere gehalten hätten. — Dieses können sie gewiss nicht sein, da der Mond keine Atmosphäre und also auch kein tropfbares Wasser hat; aber, wenn man dies auch nicht wüsste, so dürfte man doch nicht an wirkliche Meere denken, denn die Oberfläche der sogenannten Meere ist, wenn man sie näher betrachtet, keinesweges gleichförmig und eben, sondern es wechseln auf ihr hellere und dunklere Stellen ab und sie zeigt zahlreiche Erhöhungen und Vertiefungen, so wie viele Crater und andere Eigenthümlichkeiten, welche eine *flüssige* Oberfläche sämmtlich nicht zeigen könnte. Was man an diesen dunkleren Stellen der Mondsoberfläche *unmittelbar* sieht, ist ihre geringere Fähigkeit, das empfangene Sonnenlicht zurückzugeben; man muss dieses als Thatsache betrachten, deren primitiver Grund ausser dem Bereiche der Forschung liegt, dessen Kenntniss zum Verstehen derselben auch nicht nothwendig ist, da verschiedene Körper auch in der Fähigkeit, das Licht zurückzuwerfen, die grössten Verschiedenheiten besitzen. *Lambert* hat die Benennung *Albedo* oder *Weisse* zur Bezeich-

nung dieser Fähigkeit eingeführt; wenn wir sie hier anwenden wollen, so ist das, was der unmittelbare Anblick der Meere des Mondes lehrt, nichts anderes, als dass ihre Weisse kleiner ist, als die Weisse anderer Theile seiner Oberfläche.

In Beziehung auf diese Weisse der verschiedenen Theile der Oberfläche des Mondes, sehen wir aber nicht bloss zwei verschiedene Grade, sondern so viele, dass zwischen ihren Extremen, dem glänzenden Weiss und dem dunklen Grau, beliebig viele Abtheilungen gemacht werden können, deren jeder etwas auf dem Monde entspricht. Der allerglänzendste Punkt des Mondes ist das Aristarch benannte Gebirge; die höheren Grade des Glanzes finden sich im Allgemeinen an Cratern und einigen Ringgebirgen; die Ebene erscheint im Allgemeinen weniger hell, und die Meere am wenigsten. Aber man darf dies nicht als feste Regel betrachten, denn die Ausnahmen davon sind so häufig, dass man fast Bedenken haben sollte, eine Regel auszusprechen. Es giebt in der That viele Berge im Monde, welche einen geringen Grad von Helligkeit besitzen, sogar einen, welcher dunkler ist, als das ihn umgebende Land; wenn zwei Crater, von gleicher Form uod Grösse, nebeneinander liegen, und in der Nähe der Lichtgrenze, wo ihre Schatten lang sind, gar nicht voneinander unterschieden werden können, so ist es etwas ganz gewöhnliches, dass im Vollmonde, wo kein Schatten sichtbar ist, der eine als ein lebhaft glänzender Flecken

gesehen wird, während der andere durchaus nicht mehr von der Fläche, auf welcher er liegt, unterschieden werden kann, der erstere also eine weit höhere Weisse als diese Fläche, der andere eine der ihrigen gleiche besitzt. Im Vollmonde kann man die Gegenstände auf dem Monde nur an der Verschiedenheit ihrer Weisse erkennen; verfolgt man einige der glänzenden Punkte, mit welchen seine Scheibe dann besäet ist, bis sie, in der Nähe der Lichtgrenze, auch ihre Formen zeigen, so wird man oft überrascht, in dem einen einen Crater, in dem anderen einen einzelnen Berg, in dem dritten einen Theil der Ebene zu erkennen. — Man kann also so wenig im Monde als auf der Erde, von der geometrischen Beschaffenheit eines Gegenstandes auf seine photometrische schliessen, sondern muss zugestehen, dass die Fähigkeit, das Sonnenlicht wiederzugeben, nicht von der Form, sondern von der physischen Natur der Gegenstände abhängt. Auf der Erde ist es unbedenklich genau so: ein Kreide- oder Kalkfelsen hat eine grosse Weisse, eine schwarze Basaltkuppe eine sehr geringe; eine ebene Fläche mit weissem Sande bedeckt, wird sich der ersteren, eine mit den Trümmern von Kohlenschiefer bedeckte, der letzteren nähern. Es ist auch sehr wahrscheinlich, dass grosse Flächenstrecken der Erde, jenachdem sie durch die Trümmer des einen oder des anderen Gesteins gebildet worden sind, mit grösserem oder geringerem Lichte glänzen. Den Unterschied kann man aber in

der Nähe nicht sehen, während er, vom Monde aus, sichtbar werden würde. Dieses ist also einer der vorher erwähnten Fälle, in welchen die grosse Entfernung die Erkenntniss nicht beeinträchtigt, sondern unterstützt.

Ich habe diesen Gegenstand erst erörtern müssen, ehe ich von einer, die Aufmerksamkeit stark fesselnden Erscheinung auf dem Monde reden durfte. Sie besteht in hellen, einige Meilen breiten Streifen, welche sich, von gewissen Punkten ausgehend, wie Strahlen, auf der Oberfläche des Mondes ausbreiten und vorzüglich im Vollmonde auffallend sind, wo viele Einzelnheiten auf ihm unsichtbar werden und also den Ueberblick über diese Streifen nicht mehr stören. Diese Strahlen gehen von grösseren Ringgebirgen des Mondes aus, indem sie in kleiner Entfernung von ihren Umwallungen anfangen, die Ringgebirge wie ein Heiligenschein umgeben, und sich dann bis zu beträchtlichen, 30, 50 ja mehrere Hundert Meilen weiten Entfernungen erstrecken. Das reichste Strahlensystem hat das mächtige Ringgebirge Tycho, von welchem über 100 Strahlen ausgehen; unter diesen ist ein nach Nordosten gehender, doppelter Streifen, durch Helligkeit und eine Länge von 150 Meilen ausgezeichnet; ein anderer, nach Nordwesten gehender, schwächt sich allmählig, erhält aber, bei seinem Durchgange durch das Ringgebirge Menelaus, neue Lebhaftigkeit und kann bis zur Länge von 400 Meilen verfolgt werden. Diese Streifen gehen durch Alles

hindurch, was sie in ihrer Richtung antreffen, es sei Ebene, Gebirge, Crater. Sie haben immer grosse Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Schroeter hat sie für Bergadern gehalten; was sie aber nicht sein können, da sie nie, auch unter den vortheilhaftesten Umständen nicht, einen Schatten werfen. Herschel nahm sie für Lavaströme, welche von den grossen Cratern ausgegangen seien und sich bis zu grossen Entfernungen erstreckt haben, wogegen Beer und Mädler aber bemerken, dass sie nicht den tiefsten Stellen der Oberfläche des Mondes folgen, vielmehr selbst an Bergwällen von 1000 bis 1500 Toisen Höhe, ihre Richtung nicht ändern. Wenn man nicht etwa annehmen will, dass diese Wälle sich erst später aufgethürmt haben, so ist dieser Grund entscheidend gegen jede Erklärung, welche auf einer Ausströmung aus den Ringgebirgen beruht. — Meiner Meinung nach kann man in diesen Streifen nichts anderes sehen, als Adern des Mondkörpers von einem Gestein, welches grössere Weisse besitzt. Ihr, durch ihr strahlenförmiges Ausgehen aus grösseren Ringgebirgen unzweifelhaft werdender Zusammenhang mit diesen, zeigt unzweideutig, dass diese Gebirge Mittelpunkte der Bildung der Oberfläche des Mondes gewesen sind. Der Zug der verschiedenartigen Materie des noch flüssigen Mondes nach diesen Mittelpunkten hin, wo etwas Gährendes zum Ausbruche kam, wird durch die Strahlen angedeutet; wenigstens kann keineswegs bezweifelt werden, dass sie mit der ersten Bildung

der Oberfläche desselben im innigsten Zusammenhange stehen. Es würde, für unsere Geologie, vom höchsten Interesse sein, wenn man, durch einen totalen Ueberblick über die Erde, erfahren könnte, ob auch sie solche Streifen besitzt; dass wir, wenn wir auf dem Monde wären, die Streifen des Mondes nicht, oder wenigstens nicht so deutlich, erkennen würden, als wir sie von der Erde aus erkennen, unterliegt keinem Zweifel.

Sie würden mir gewiss nicht dafür danken, wenn ich Ihnen alles, was man auf dem Monde wahrnimmt, im Einzelnen beschreiben wollte. Ich empfehle Ihnen die Karte von Beer und Mädler und das dazu gehörige Buch — und dann die Anwendung eines tüchtigen Fernrohrs, um alles selbst zu sehen und durch seine Vergleichung selbst zu verstehen. Diese Empfehlung ist wohl leichter ausgesprochen als erfüllt; aber so wenig ich hieran zweifle, so zweifle ich doch noch weniger an der Wahrheit, dass eine zu sehr in das Einzelne eingehende Beschreibung schlechter ist, als eine Vieles davon überspringende. Nichtsdestoweniger werde ich noch einer merkwürdigen, wenn auch vielleicht nicht das Verhältniss des Ganzen berührenden, Bildung, von welcher der Mond mehrere Beispiele zeigt, erwähnen. Dieses sind die sogenannten Rillen; lange und schmale, gewöhnlich vollkommen gerade, aber auch gekrümmt vorkommende Vertiefungen. Ihre Länge ist sehr verschieden, von 2 bis 30 Meilen. Sie gehen zuweilen durch kleine Crater,

oder nahe an ihnen vorbei, haben auch wohl einen derselben zum Endpunkt; über Berge laufen sie nie, obgleich sie sich einigemale nahe von ihnen begrenzt zeigen. — Dass sie wirkliche und beträchtliche Vertiefungen sind, entscheidet der Schatten ihrer Ränder, der in ihr Inneres fällt. — Wir haben auf der Erde nichts Aehnliches, weshalb ich auch nicht weiss, was ich aus diesen Rillen machen soll. Ein Gedanke an Canäle oder ein anderes Communicationsmittel, würde wenigstens ein sehr unreifer Gedanke sein.

Indem ich hiermit die allgemeine Beschreibung des Mondes schliesse, erlaube ich mir, nocheinmal auf einen, vorher schon angedeuteten Punkt zurückzukommen. Das Gebirge des Mondes ist im Allgemeinen rauh und steil, in weit grösserem Grade als wir es auf der Erde sehen, ich dürfte wohl sagen, sehen können; denn man kann nicht zweifeln, dass so schroffe Felsenwände, als der Mond darbietet, bei den ewigen Einflüssen der Luft und des Wassers der Erde, welche nie aufhören auflösende Kräfte zu äussern, längst zusammengestürzt sein, und die Ebenen mit Trümmern und mit Sand gefüllt haben würden. Es ist schwer oder unmöglich, den ursprünglichen Zustand der Gebirge der Erde, aus seinem jetzigen Zustande zu errathen. Dagegen zeigt sich der Mond immer neu und frisch, und dieser Zustand, verglichen mit dem alternden Zustande der Erde, mag wenig-

stens die Möglichkeit eines Gebirges zeigen, welches, nachdem es solche Massen von Trümmern und Sand hergegeben hat, als z. B. Norddeutschland und Preussen bedecken, noch immer ein Gebirge ist.

Oft ist die Frage wiederholt worden, ob auf der Oberfläche des Mondes Veränderungen vorkommen. Ich habe keine grosse Neigung, mich darauf einzulassen: Thatsachen allein können sie beantworten, und so soll sie mich wenigstens zu der Antwort veranlassen, dass ich, so oft sie dadurch bejahend beantwortet worden ist, keine Thatsache kenne, welche auch nur mit einiger Wahrscheinlichkeit, geschweige denn Gewissheit, durch eine wirkliche Veränderung auf dem Monde erklärt werden müsste. Wenn Veränderungen vorkommen, so wird man sie nur aus der Vergleichung früherer und späterer Darstellungen und Beschreibungen des Einzelnen im Monde erkennen können; die früheren Darstellungen und Beschreibungen, welche wir besitzen, sind aber von einer Beschaffenheit, dass es manchmal kaum gelingt, auszumitteln, ob damit dieselben Gegenstände gemeint sind, welche man später beobachtet hat. Ob auch die neuesten Bemühungen um die Kenntniss des Mondes, so sehr ins Einzelne eingehen, dass man glauben dürfte, kleine, das heisst die Kraft der Fernröhre kaum erreichende Veränderungen, durch ihre spätere Vergleichung mit Sicherheit zu erkennen, — diese Frage würde ich bejahend zu beantworten, grosses Bedenken





